



Tielaitos

Bentoniittimattojen ja muovikalvojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen

Tutkimuksia ja suosituksia



**Tielaitoksen
selvityksiä**

26/1993

Helsinki 1993

**Kehittämiskeskus
Geokeskus**

Tielaitoksen selvityksiä
26/1993

Bentoniittimattojen ja muovikalvojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen

Tutkimuksia ja suosituksia

Tielaitos
Kehittämiskeskus
Geokeskus

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-7425-6
TIEL 3200152
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotemyynti
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

RATHMAYER, Hans, JUVANKOSKI, Markku, Bentoniittimattojen ja muovikalvojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen. Tutkimuksia ja suosituksia. [Bentonitmattornas och geomembranernas duglighet för skyddskonstruktioner av grundvatten. Forskningsresultat och rekommendationer.]. Helsinki 1993, Tiehallitus. Tielaitoksen selvityksiä 26/1993, 83 s, TIEL 3200152.

Asiasanat pohjaveden suojelu, tie, luiskat, vedenläpäisevyys, saastuminen, suojaus, maatiiviste, geosynteettiset tuotteet, bentoniittimatto, geomembraani, bituminoitu kuitukangas, muovitettu kuitukangas, laadunvarmistus.

Tiivistelmä

Tässä julkaisussa on esitetty luiskasuojaurakenteissa käytettävien geosynteettisten tuotteiden laatuvaatimukset ja asennusohjeet. Ne on laadittu luiskasuojauksen toiminnallisten vaatimusten ja tämän työn yhteydessä geosynteettisillä tuotteilla tehtyjen laboratoriokokeiden tulosten sekä kolmessa seurantakohteessa tehtyjen havaintojen perusteella. Maamateriaalien laatuvaatimukset on määritetty jo aikaisemmassa tutkimuksessa ja ne on lyhyesti kerrattu.

Laboratoriokokeissa testattiin neljää bentoniittimattoa ja yhtä muovitettua kuitukangasta. Tärkein tiivistämiseen käytettävän geosynteettisen tuotteen ominaisuus on, ettei tuote kohtuullisten asennuksen aikaisten ja valmiissa rakenteessa esiintyvien rasitusten jälkeenkään läpäise nestettä 12 tunnin aikana. Asennuksesta aiheutuvien rasitusten vaikutusta tuotteiden vedenläpäisevyyteen selvitettiin venytetyllä tuotteella (epätasainen asennuspohja) ja kahdella itse asennusvaihetta kuvaavalla rasituskokeella (rikkoutuminen tiivistettävän kerroksen alla ja asennushenkilökunnan liikkuminen kastumaan päässeen tuotteen päällä). Valmiissa rakenteessa tuotteeseen kohdistuvista rasituksista selvitettiin kuivumis-kastumis- ja jäätymis-sulamissykliä sekä suolavesikäsitteilyn vaikutusta tuotteen läpäisevyyteen. Bentoniittimatoilla ja muovitetulla kuitukankaalla suoritetuista laboratoriokokeista on tärkeimmät tulokset esitetty lyhyesti. Huolellisesti ja oikein asennettuna bentoniittimatot soveltuvat hyvin suojauksessa käytettäväksi, mutta ohut muovitettu kuitukangas rikkoutuu mekaanisesti suojaamattomana herkästi.

Eri tuotteiden vedenläpäisevyys eräissä suoritetuissa laboratoriokokeissa on esitetty alla olevassa taulukossa.

Tuote	Uutena	Asennuskokeen jälkeen			Maasta esiin- kaivettuna
		l/m ² /h	10 m	1 m	0.5 m
Vedenläpäisevyys	l/m ² /h				
Kokeen vesikerros	10 m	10 m	1 m	0.5 m	0.5 m
Claymax 500 SP	0.07	0.20	0.11	-	-
Claymax 200 R	0.04	0.08	0.07	-	-
Bentofix B	1.03	6.29	0.25	-	-
Bentofix B (NW)	1.31	5.53	0.19	-	-
Intermembrane	3.17	-	-	8.86- 167.5	2.44- 305.5

On kuitenkin muistettava, että suoritetuissa kokeissa käytettiin ajan säästämiseksi suurta vedenpaine korkeutta (yleensä 10 m) ja sisäluiskan yläosassa ei esiinny edes 0.5 metrin paksuista vesikerrosta, koska luiska on kalteva ja siinä on lisäksi suojakerros. Muovitetu kuitukangas ei kuitenkaan yksinään riitä ojan pohjan tiivisteksi.

Yhdellä maamateriaalilla (kitkakulma 35°, Ojakkalan hiekka) suoritettujen rasialeikkauskokeiden tulosten perusteella saatiin bentoniittimatoille suurimmaksi käytettävissä olevaksi luiskan kaltevuudeksi, hiekan osavarmuuskorrotoimella $f = 1.25$ laskettuna, 1:1.9 - 1:2.5 ja muovitetulla kuitukankaalla 1:2.0. Itse tuotteen leikkautumista ei kokeissa tarkasteltu. Koska bentoniittimatoissa on bentoniitti kahden kuitukankaan tai kudotun kankaan välissä, eikä kaikissa tuotteissa näitä kankaita ole ommeltu yhteen, on itse tuotteen leikkautumismahdollisuus, etenkin pitkiä luiskia suojattaessa, tarkasteltava erikseen.

Lisäksi on esitetty suositukset pohjavesialueen eri kohdissa tiivistämiseen käytettävistä geosynteettisistä tuotteista. Tärkeillä pohjavesialueilla suositellaan käytettäväksi vain bentoniittimattoa tai vähintään 1.0 mm paksuista kuitukankaalla tai hiekkakerroksella suojattua geomembraania.

Tiivistämiseen käytettävien geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistusmenetelmiä ja asennustapoja joudutaan todennäköisesti täsmentämään käytännössä saatujen kokemusten perusteella, koska yhä uusia tuotteita tulee jatkuvasti markkinoille ja koska kaikkien jo suojauksessa käytettävien tuotteiden toiminnasta ei ole riittävästi kokemuksia (esimerkkinä maastossa bituminoidut kuitukankaat).

Geosynteettisen tuotteen asennuspohjan tasaisuutta, itse tuotteen virheettömyyttä ja maamateriaalin homogeenisuutta valvotaan silmämääräisesti. Luiskasuojaukseen jo soveltuvaksi todettujen geosynteettisten tuotteiden osalta tarkastetaan lisäksi tuotteen nimike ja neliöpaino. Uusien geosynteettisten tuotteiden osalta suositellaan em. rasituskokeiden suorittamista.

RATHMAYER Hans, JUVANKOSKI Markku. Validity of geosynthetic clay liners and geomembranes for groundwater protection at roads. Investigations and recommendations. [Bentoniittimattojen ja muovikalvojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen. Tutkimuksia ja suosituksia]. Helsinki 1993, Public Road Administration. Research report 26/1993, 83 p, TIEL 3200152.

Key words groundwater protection, road, slope, permeability, contamination, protection, clay liner, geosynthetics, geosynthetic clay liners, geomembranes, bitumen coated geotextile, plastic coated geotextile, quality assurance.

Abstract

The publication presents requirements set to geosynthetic products to be used for groundwater protection measures and guidelines for their installation are given. These are based on the specific functions required for groundwater protections, on an extensive laboratory testing programme and on the results of observations on three sites. Requirements to soil liners, which were presented in an earlier publication, are repeated only shortly.

Four geosynthetic clay liners (bentonite mattresses) and one plastic coated geotextile were tested in laboratory. Geosynthetic materials applied as a barrier in groundwater protection have to fulfil the requirement, to withstand a normal installation procedure and the stresses in the final construction without losing its tightness for a period lasting at least 12 hours. The influence of stresses acting during the installation phase on the water permeability of the products were tested in permeability tests on stretched material (simulating uneven support). Two other procedures simulated the installation process, damage caused by the compaction of the soil layer overlaying the geosynthetic liner and point loads caused by workmen walking on a wetted but uncovered geosynthetic clay liner (footprint test). Other performance tests simulated freeze-thaw cycles, drying and wetting cycles and the influence of road salt on the behaviour of geosynthetic materials in final road constructions. The most significant test results evaluated for bentonite mattresses and the plastic coated geotextile are presented shortly. Carefully and properly installed the geosynthetic clay liners showed to be most suitable materials for groundwater protection, but the thin plastic coated geotextile showed, without an extra protection, to be sensible to get damaged during the installation.

Water permeability values of different products as determined in laboratory tests are given in the table beneath.

Product	Original	After installation test			Recovered from site
Permeability	l/m ² /h	l/m ² /h			l/m ² /h
Water head	10 m	10 m	1 m	0.5 m	0.5 m
Claymax 500 SP	0.07	0.20	0.11	-	-
Claymax 200 R	0.04	0.08	0.07	-	-
Bentofix B	1.03	6.29	0.25	-	-
Bentofix B (NW)	1.31	5.53	0.19	-	-
Intermembrane	3.17	-	-	8.86- 167.5	2.44- 305.5

It has to be remembered, that for time saving reasons relatively high water heads were applied in the testing (generally 10 m w.p.) while in the upper part of the road slope a water column exceeding 0,5 m is hardly to be expected because of its inclination and the presence of a protective layer. A plastic coated geotextile alone is anyhow not sufficient to function as a barrier at the bottom of the ditch.

Shear tests performed with one soil material (friction angle 35° , Ojakkala sand) lead to the conclusion, that bentonite mattresses allow slope inclinations of 1:1.9..1:2.5 and the plastic coated geotextile of 1:2.0, with a partial factor of safety for sand $f = 1.25$. Shearing of the product itself was not tested. As the bentonite clay in the bentonite mattresses is encapsulated between two layers of geotextile, which are needled together only in some of the product types, the stability of the product against shear has to be proven separately especially with long slopes.

In addition suggestions are made for the use of geosynthetics as a tight barrier in slope constructions at different groundwater zones. For important groundwater areas (zone 1) generally bentonite mattresses shall be used or geomembranes, which are protected with an at minst 1 mm thick geotextile or with a layer of sand.

The here presented measures for quality assurance of geosynthetic barriers and the guidelines for their installation procedures have obviously to be revised as soon as more experience is available. On the one hand new products are continuously appearing on the market, on the other hand only little experience was gained with some products already in use (e.g. on-site bitumen coated geotextiles).

The evenness of the supporting layer for geosynthetic barriers, their integrity and the homogeneity of the soil materials are checked visually. For approved geosynthetic liner materials also their type and mass / unit area are controlled. In the case of new geosynthetic materials a type approval according to the procedures presented in this report are suggested.

Alkusanat

Tämä selvitys on tarkoitettu palvelemaan tiealueelle rakennettavien pohjaveden suojausten rakentamista ja laadunvalvontaa aina hankkeen alusta materiaalivalinnoista alkaen suojauksen pitkäaikaisen tyydyttävän toiminnan varmistamiseen. Julkaisussa on käsitelty luiskasuojauksissa käytettävien geosynteettisten materiaalien laatuvaatimuksia ja laadun varmistamista hankkeen eri vaiheissa.

Suojauksissa käytettävien maamateriaalien laatuvaatimukset ja käytettävät rakenteet on esitetty Tielaitoksen julkaisussa "Pohjaveden suojaus tien kohdalla", joten laatuvaatimukset on ainoastaan kerrattu lyhyesti tässä yhteydessä. Suojauksen tiivistämistä on käsitelty Tielaitoksen julkaisussa "Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen".

Geosynteettisten tuotteiden osalta on laadunvarmistuksessa tarvittavat menetelmät kehitetty tämän työn yhteydessä, koska jo käytännössä koeteltuja menetelmiä ei ole ollut. Tuotteiden laatuvaatimukset ja asennusohjeet on laadittu luiskasuojaukselle asetettujen vaatimusten, suoritettujen kokeiden ja käytännön kohteissa havaittujen tekijöiden perusteella.

Tämän raportin ovat laatineet erikoistutkija Hans Rathmayer ja tutkija Markku Juvankoski Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Tie- geo- ja liikennetekniikan laboratoriosta.

Tutkimuksen ovat tilanneet tielaitoksen geokeskus ja kehittämiskeskus. Työtä ovat ohjanneet tieinsinööri Tuomo Kallionpää geokeskuksesta ja diplomi-insinööri Kari Lehtonen kehittämiskeskuksesta. Lisäksi tutkimuksen rahoitukseen ovat osallistuneet bentoniittimattojen maahantuojat Algol Oy (Bentofix-matot) ja Kaitos Oy (Claymax-matot ja muovitettu kuitukangas Intermembrane) sekä Uudenmaan ja Kymen tiepiirit.

Tielaitos
Geokeskus
Kehittämiskeskus

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	11
2	SUOJAUSRAKENTEEEN MATERIAALIEN LAATUVAATIMUKSET	12
2.1	Maamateriaalin laatuvaatimukset	12
2.2	Geosynteettisten tuotteiden laatuvaatimukset	13
2.2.1	Toimintafunktiot	13
2.2.2	Tiivistämiseen käytettävät tuotteet	14
2.2.3.	Geosynteettisten tuotteiden vedenläpäisevyydelle asetetut vaatimukset	16
2.3	Geosynteettisten tuotteiden ominaisuudet	19
2.3.1	Laboratoriokokeet ja tulokset	19
2.3.2	Bitumiemulsiolla bituminoitujen kuitukankaiden laboratoriotutkimukset	35
2.3.3	Uusien tuotteiden hyväksymiskokeet	37
2.3.4	Geotekstiilit	38
2.3.5	Geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistus työmaalla	39
2.4	Suosituksat geosynteettisten tuotteiden käytöstä	40
3	GEOSYNTTEETTISTEN TUOTTEIDEN ASENNUS	42
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA LISÄTUTKIMUSTARPEET	46
	KIRJALLISUUS	47

1 JOHDANTO

Pohjavettä muodostavilla alueilla ja pohjavedenottamoiden suoja-alueilla luiskasuojauksilla estetään esimerkiksi säiliöauto-onnettomuuksien yhteydessä haitallisten aineiden, kuten mm. öljyn ja teollisuuskemikaalien, pääsy pohjaveteen. Suojauksen tulee estää haitallisten aineiden läpäisy vähintään 12 tunnin ajan, jona aikana torjuntaorganisaatio on kerännyt maastoon levinnyttä ainetta, estänyt sitä leviämästä lisää ja poistanut saastuneen maakerroksen.

Vaikka luiskasuojaukset on tarkoitettu etupäässä estämään lyhytaikaisesti aineiden kulkeutuminen pohjaveteen, on suojauksilla todettu olevan suotuisa vaikutus myös pohjavesiesiintymien suolaantumisen estämisessä /4/.

Luiskasuojaus rakennetaan pääosin tiivistetystä, tietyt laatuvaatimukset täyttävästä maa-aineksesta. Tien päällysteen ja maa-aineksisen luiskasuojauksen liitoskohdassa käytetään eroosion estämiseksi soratien kulutuskerrosmursketta. Murskekerroksen alla käytetään tiivistävää geosynteettistä tuotetta, jonka tehtävänä on johtaa mahdollisesti tielle valuva neste maa-aineksisen suojauksen päälle.

Vilkkaasti liikennöidyillä teillä tai vedenottamoiden lähistöllä voidaan käyttää tiivistävällä geosynteettisellä tuotteella kokonaisuudessaan vahvennettua maa-aineksista luiskasuojauksia. Muissa kohteissa kevyempiä geosynteettisiä tuotteita voidaan käyttää maatiivisteiden alla suojauksen kuivumisen vähentämiseksi. Louhepenkereelle (tai jos suojamateriaalin alla olevan soran tai murskeen keskimääräinen raekoko on alle 2 mm) rakennettujen teiden luiskasuojauksessa käytetään lisäksi kiilatun louhekerroksen ja luiskasuojausmateriaalin välissä kuitukangasta estämään tiivistämateriaalin valuminen veden mukana louheen sekaan.

Suojausrakenteen asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi on rakenteissa käytettävien maamateriaalien laatua ja saavutettua lopputulosta valvottava. Erityisesti on varottava, ettei suojaukseen joudu karkearakeisia, hyvin vettä läpäiseviä maamateriaaleja.

Luiskasuojauksissa tiivistämistarkoituksiin käytettävät geosynteettiset tuotteet ovat maamateriaaleihin nähden yleensä hyvin homogeenisia, eivätkä materiaaleina sinänsä vaadi työmaalla juuri muuta kuin silmämääräisen laadunvalvonnan. Geosynteettisten tuotteiden laajan valikoiman ja suojausrakenteen erityispiirteiden takia on rakenteessa käytettävien materiaalien soveltuvuus kuitenkin suositeltavaa selvittää etukäteen.

Geosynteettiset materiaalit ovat yleensä myös hyvin tiiviitä. Edellytyksenä kuitenkin on, ettei tuotetta rikota asennuksen yhteydessä, että tuote asennetaan ja saumataan huolella ja että henkilökunta on koulutettu asennusten suorittamiseen ja ymmärtämään suojauksen tarkoitus.

2 SUOJAUSRAKENTEEEN MATERIAALIEN LAATUVAATIMUKSET

2.1 Maamateriaalin laatuvaatimukset

"Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tienluiskassa" -projektin yhteydessä todettiin, että luiskasuojaukseen parhaiten soveltuvia materiaaleja ovat laihat savet, siltit ja silttimoreenit. Luiskasuojauksissa voidaan käyttää myös savea tai silttimoreenia karkeampia materiaaleja, mikäli ne vedenläpäisevyytensä perusteella täyttävät tiivistemateriaalille esitetyt vaatimukset. Lämpäisyajavaatimuksen perusteella tiivistettynä 0.7 metrin paksuisen tiivisterroksen vedenläpäisevyyskertoimen tulee maastossa mitattuna olla korkeintaan 5×10^{-6} m/s.

Suojauksen rakenne on jaettu neljään tien sijainnista pohjavesialueella riippuvaan vaatimustasoluokkaan. Tietyn kohteen vaatimustasoluokkaa määritettäessä huomioidaan lisäksi maaperän hienoainespitoisuus, liikennemäärät sekä pohjavedenottamon ottama vesimäärä vuorokaudessa. Suojausrakenteen vaatimustasoluokan määrittäminen ja suojausrakenteet on esitetty Tielaitoksen julkaisussa "Pohjaveden suojaus tien kohdalla" /1/.

Suojausten vaatimustasot vilkasliikenteisillä teillä (KVL > 3000) ovat:

- | | | |
|----|--|-------------------------------|
| 1. | lähisuojavyöhyke | erittäin vaativa suojaus |
| 2. | kaukosuojavyöhyke | vaativa suojaus |
| 3. | muulla osalla pohjavesialuetta | perussuojaus |
| 4. | pohjavesialueet, joille ei ole suunniteltu ottamoa | perussuojaus (jos suojataan). |

Erittäin vaativassa ja vaativassa suojauksessa (luokat 1 ja 2) käytetään erikoismaatiivistettä tai maatiivistettä, perussuojauksessa (luokat 3 ja 4) riittää maatiivisteiden käyttö. Erikoismaatiivisteiden ja maatiivisteiden laatuvaatimukset on esitetty taulukossa 1.

Luokkaa nostetaan yhdellä kohdassa, jossa maaperä on erittäin läpäisevää (# 0.074 mm:n seulan läpäisevää hienoainesta alle 8 %).

Luokkaa lasketaan yhdellä, jos tie ei ole vilkasliikenteinen (KVL < 3000 ajoneuvoa vuorokaudessa) ja vaarallisten aineiden kuljetuksia on vähän tai jos vedenottamon ottama vesimäärä on alle 250 m³/vrk. Tapauskohtaisesti harvinaisesti, voidaan perussuojaus jättää tällä perusteella tekemättä tapauksissa 3. ja 4. Vähäliikenteisillä teillä (KVL < 1500 ajoneuvoa vuorokaudessa) luiskasuojaustarve arvioidaan erikseen /1/.

Tähän luokitukseen tullaan viittaamaan myöhemmin geosyntetttisten tuotteiden käyttösuositusten yhteydessä.

Taulukko 1. Erikoismaatiivisten ja maatiivisten laatuvaatimukset. Hienoainespitoisuus-/tiiviyysastevaatimukset ja vedenläpäisevyysvaatimukset ovat vaihtoehtoisia.

	Maalaji	Hienoaines- pitoisuus %	Proctor tiiviyysaste D %	Vedenläisevyys laboratoriokokeessa k D=90 % m/s
Erikois- maatiiviste	savi siltti siltti- moreeni	> 70	> 85	< 5×10^{-8}
	savi siltti siltti- moreeni	> 60	> 90	< 5×10^{-8}
	myös muu - kivennäis- maalaji		-	< 5×10^{-8}
Maatiiviste	savi siltti siltti- moreenit	> 50	> 90	- -
	savi siltti siltti- moreenit	> 60	> 85	- -

2.2 Geosynteettisten tuotteiden laatuvaatimukset

2.2.1 Toimintafunktiot

Luiskasuojusrakenteessa käytetään monentyyppisiä geosynteettisiä tuotteita (geotekstiilejä, paksuja muovikalvoja eli geomembraaneja, bentoniittimattoja, bituminoituja ja muovitettuja kuitukankaita) täyttämään eri tehtäviä eri osissa suojausta.

Tuotteita käytetään:

- estämään tiivistemateriaalin sekoittumista perusmaan kanssa
- estämään tiivistemateriaalin eroosioitumista louhepenkereelle perustetuilla teillä
- vastaamaan rakenteen tiiviydestä luiskan yläreunassa asfaltin ja tiivistemateriaalin vaihtumisvyöhykkeessä soratien kulutuskerrosmurskeen alla

- varmistamaan tiivistysrakenteen pitkäaikaistoimivuus tärkeissä suojauskohteissa
- estämään kuivumisen haittavaikutuksia tiivistemateriaalissa sekä
- helpottamaan nurmetuksen alkuunlähtöä luiskissa.

Eri tuotteiden käyttötarkoitukset luiskasuojauksissa on esitetty taulukossa 2. Geosynteettisten tuotteiden käyttöä georakentamisessa yleisemmin on tarkasteltu mm. viitteessä /2/.

Taulukko 2. Geosynteettisten materiaalien käyttötarkoitukset pohjavesisuojauksessa.

Toiminto	Tiivistys	Erosion estäminen	Kuivumisen estäminen	Nurmetus
Geosynteettinen tuote				
geotekstiili ¹⁾	-	xxx	-	xx
geomembraani	xxx	-	xx	-
bentoniittimatto	xxx	x	x	-
muovitettu kuitukang.	x-xx	-	xxx	-
bituminoitu kuitukang.	x-xx	x	xx	-
rakennusmuovi				
paksuus > 0.3 mm	-	-	xxx	-
xxx	ensisijainen käyttötarkoitus / soveltuu hyvin käytettäväksi			
xx	toissijainen käyttötarkoitus / soveltuu käytettäväksi			
x	toissijainen käyttötarkoitus / soveltuu osittain			
x-xx	periaatteessa soveltuu, rajoituksia tiettyjen tuotetyyppien osalta			
-	ei käytetä			
1)	mukaanlukien luonnonkuituja tai muuta hajoavaa ainesta sisältävät nurme- -tusmatot (ilman siemeniä tai siementen kanssa) sekä eroosionsuojamatot			

2.2.2 Tiivistämiseen käytettävät tuotteet

Geomembraanit

Geomembraanit ovat paksuja (tavallisimmat paksuudet 1...3 mm), yleensä muovista valmistettuja kalvoja, mutta myös bitumipohjaisia geomembraaneja on olemassa (bitumipohjaisten geomembraanien paksuus on yleensä yli 5 mm). Geomembraaneja käytetään ensisijaisesti luiskasuojusrakenteessa erityisen vaativissa kohteissa tiivisterakenteen pitkäaikaistoimivuuden varmistamiseksi tai korvaamaan osittain maatiivistekerrosta. Mikäli geomembraanilla toteutettavasta rakenteesta halutaan täysin tiivis, on saumat tehtävä hitsaamalla. Hitsauksen suorittajan on voitava osoittaa pätevyytensä (materiaalikohtainen) kyseiseen työhön.

Tiiviyttä varmistamaan käytettävän geomembraanin vähimmäispaksuuden tulee olla vähintään 1.0 mm. Tämä paksuus määräytyy lähinnä saumattavuuden perusteella, koska ohuempaa muovikalvoa ei voida luotettavasti liittää hitsaamalla toisiinsa. Kalvopaksuuden ollessa 1 mm:n luokkaa alustan tasaisuusvaatimukset ovat vielä erittäin suuret. Paksumpi kalvo kestää myös ohuempaa kalvoa paremmin esimerkiksi asennuksen aikaiset rasitukset.

Geomembraanit saattavat rikkoutua herkästi terävien kivien vaikutuksesta ja erityisesti silloin, kun pistekuorman vaikutus on pitkäaikainen. Geomembraanin suojana karkeaa materiaalia vastaan voidaan käyttää paksua kuitukangasta ($> 1000 \text{ g/m}^2$) tai hiekkakerrosta, jossa hiekan rakeisuus on 0...5 mm. Etenkin kalvon yläpuolella suojakerroksena voidaan käyttää geotekstiiliä ja alapuolella hiekkakerrosta. Yleensä kemiallisesti kestävämpiä ovat PEHD-kalvot (high density polyethylen) ja niiden kopolymeerit.

Bentoniittimatot

Bentoniittimatot ovat kuivina 5...8 mm:n paksuisia kerrosrakenteita, joissa bentoniittijauhe on sijoitettu kahden kankaan väliin. Kankaat voivat olla kudottuja tai kutomattomia kankaita. Kuivana bentoniittimatot läpäisevät nesteitä, mutta kastuessaan bentoniitti paisuu, ja matosta tulee hyvin tiivis (paksuus märkänä 10...20 mm).

Bentoniittimattoa käytetään sisäluiskan yläosan tiivistämisessä murskekerroksen alla. Erityisen vaativissa kohteissa tiivisterakenteen pitkäaikaistoimivuuden varmistamiseksi käytetään bentoniittimattoa koko maatiivisteen alla. Mattojen saumaus suoritetaan limittämällä vierekkäiset matot. Mattotyypistä riippuen saumat ovat itsestään tiivistyviä tai niiden saumauksessa käytetään bentoniittijauhetta.

Lisäksi markkinoilla on bentoniittilevyjä, mutta niiden käyttöä ei suositella niiden pienen venymiskyvyn takia, koska tuotteiden asennuspohjan tasaisuutta suojausrakenteessa ei voida pitkäaikaisesti taata.

Muovitetut kuitukankaat

Muovitetut kuitukankaat ovat nimensä mukaisesti kuitukankaan ja muovikalvon yhdistelmä, jossa muovikalvo on liitetty eri valmistusvaiheessa kankaaseen. Tuotteiden paksuudet riippuvat käytettyjen kalvojen ja kankaiden paksuudesta (paksuudet n. 0.5 mm ylöspäin). Muovitetuja kuitukankaita voidaan käyttää varmistamaan suojauksen pitkäaikaistiiviyttä. Mikäli muovikalvo tuotteessa on ohut, se on herkkä rikkoutumaan, jos se joutuu kosketuksiin terävien kivien kanssa. Tämän vuoksi se tulisi yleensä vielä suojata karkeata maamateriaalia vastaan etenkin luiskan yläosan tiivistyksessä. Muovitetujen kuitukankaiden saumaus suoritetaan esimerkiksi liimaamalla. Kemiallisen kestäväyytensä puolesta soveltuvat suojaukseen parhaiten PEHD-kuiduista, mutta myös niiden kopolymeereistä valmistetut kankaat.

Bituminoidut kuitukankaat

Bituminoituissa kuitukankaissa on pohjakankaana yleensä VTT-GEO-luokituksen mukainen II-luokan kuitukangas, johon bitumi levitetään maastossa ruiskuttamalla. Kuitukankaan bituminointi suoritetaan yleensä kahdessa otteessa ruiskuttamalla. Käytettävän bitumin tai bitumiemulsion yhteismäärä riippuu käytetyn kankaan paksuudesta ja kuiturakenteesta. Yleensä käytettävä bitumiemulsiomäärä on 1.5...2.5 kg/m². Bituminointiin voidaan käyttää myös kuumaa (140...150 °C) puhallettua bitumia. Bituminoitujen kuitukankaiden saumaus suoritetaan bitumilla.

Bitumiemulsioruiskutuksella käsiteltyä kuitukangasta voidaan käyttää lähes ainoastaan maatiivisteen kuivumisen estämiseksi, ellei saavutettavan loppu-tuotteen tiiviyttä varmisteta. Bituminoidulla kuitukankaalla voidaan korvata rakenne, jossa muuten käytäisiin kuitukangasta ja rakennusmuovia yhdessä.

Rakennusmuovit

Kokonaispaksuudeltaan alle 0.6 metrin paksuisissa rakenteissa tulee maakerroksen kuivumisen estämiseksi käyttää aina vähintään rakennusmuovia tiivistemateriaalin kuivumisen estämiseksi. Kuivumisen estämiseen käytettävän rakennusmuovin vähimmäispaksuus on 0.3 mm (LD- tai HD-polyeteenikalvo). Rakennusmuovi saumataan limiliitoksin.

2.2.3 Geosynteettisten tuotteiden vedenläpäisevyydelle asetetut vaatimukset

Luiskasuojauksissa tiivistämiseen käytettävien geosynteettisten tuotteiden tärkein ominaisuus on tuotteen pieni vedenläpäisevyys. Lisäksi tuotteen on kestävä asennuksesta aiheutuvat kohtuulliset rasitukset ja luiskasuojauksessa sille tulevat erityisrasitukset, kuten jäätyminen ja maantiesuolan vaikutukset. Tiivistämiseen käytettävien tuotteiden laatuvaatimukset ja menetelmät niiden selvittämiseksi on kehitetty tämän työn yhteydessä toteutetun geosynteettisten tuotteiden laboratoriotestauksen pohjalta. Lisäksi on tutkittu olemassaolevista luiskasuojauksista ylöskaivettujen bitumiemulsiolla käsiteltyjen kuitukankaiden ja muovitettujen kuitukankaiden ominaisuuksia.

Luiskan yläosassa käytettävä geosynteettinen tuote saattaa joutua vastamaan lyhyellä matkalla kokonaan luiskan yläosan tiivistämisestä. Tällä matkalla luiska on kuitenkin kalteva 1:1...1:1,5. Luiskaa alemmas siirryttäessä geosynteettinen tuote käännetään lähes vaakasuuntaan, mutta tällöin tuotteen alla on jo luiskan tiivistämisessä käytettävää maamateriaalia, jonka paksuus ohjeiden mukaan on vähintään 0.5 metriä geosynteettisen tuotteen ojan puoleisen reunan alla.

Jos geosynteettisen tuotteen vedenläpäisevyysvaatimuksen lähtökohtana pidetään vähintään 12 tunnin läpäisyäikää, saadaan eripaksuisten tuotteiden vedenläpäisevyyksille vedenkorkeudesta taulukossa 3 esitetyt vaadittavat vedenläpäisevyyskertoimet. Näillä vedenläpäisevyyskertoimilla tuotteet

vastaavat 39 cm:n paksuista maatiivistettä (5×10^{-6} m/s) ja 9 cm:n paksuista maatiivistettä (5×10^{-7} m/s).

Jos edelleen vedenläpäisevyysvaatimuksen lähtökohtana pidetään 30 cm:n vesipainetta (kuten maatiivisteiden osalta pidettiin; maastokohteiden seurannassa Tuusulantiellä kahdessa koekuopassa murskekerroksen paksuus maton reunan kohdalla oli 20 cm ja 40 cm) saadaan näiden perusteella luisakasuojuksessa käytettävän bentoniittimaton (paksuus kosteana n. 10 mm) vedenläpäisevyysvaatimukseksi 7.5×10^{-9} m/s, mikäli tuotteen läpi ei saa kulkeutua yhtään kemikaaleja tms. 12 tunnin aikana. Taulukossa 3 on myös esitetty tällä arvolla lasketut vastaavat maatiivistepaksuudet eri vedenkorkeuksille, kun maatiivisteiden vedenläpäisevyydeksi on otettu 5×10^{-6} m/s ja 5×10^{-7} m/s.

Taulukko 3. Geosynteettisten tuotteiden vedenläpäisevyysvaatimukset ja maakerrosvastaavuus.

Eri paksuisten tuotteiden vedenläpäisevyysvaatimukset (m/s) eri vedenkorkeuksilla läpäisyajakaavan ollessa 12 tuntia (neste ei läpäise tuotetta tänä aikana).

Tuotteen tiivisteosan paksuus, mm	Vaadittava vedenläpäisevyys, k_{vaad}			
	Veden korkeus			
	mm	mm	mm	mm
	50	100	200	300
20	1.32×10^{-7}	7.72×10^{-8}	4.21×10^{-8}	2.89×10^{-8}
10	3.85×10^{-8}	2.10×10^{-8}	1.10×10^{-8}	7.46×10^{-9}
5	1.05×10^{-8}	5.51×10^{-9}	2.88×10^{-9}	1.89×10^{-9}
1	4.54×10^{-10}	2.29×10^{-10}	1.15×10^{-10}	7.69×10^{-11}
0.5	1.14×10^{-10}	5.76×10^{-11}	2.88×10^{-11}	1.92×10^{-11}

Maakerrosvastaavuudet (m) ja läpäisevyysajat tuotteen läpäisevyysarvolla 7.46×10^{-9} m/s ja paksuudella 10 mm.

Vastaavan maakerroksen k-arvo m/s	Maakerroksen paksuus, m			
	Veden korkeus			
	mm	mm	mm	mm
	50	100	200	300
5×10^{-6}	1.59	0.83	0.51	0.39
5×10^{-7}	0.28	0.17	0.12	0.09
Läpäisy aika tuntia	75	34	18	12

Taulukossa 3:

$$k_{\text{vaad}} = d^2 / ((h+d)t)$$

k_{vaad} on	tuotteelta vaadittava vedenläpäisevyyskerroin, m/s
d	tuotteen tiivisteosan paksuus, m (veden kulkema matka)
t	läpäisyyn vaadittava aika, s
v	veden nopeus, m/s
h	vedenpaine korkeus, m
i	hydraulinen gradientti, $i = (h+d)/d$

Ohuilla tuotteilla (muovikalvoilla) läpäisevyysvaatimus johtaa hyvin pie-niin vaadittaviin vedenläpäisevyysarvoihin jo pienilläkin vedenpaineen ar-voilla. Koska muovituotteet eivät rakenteeltaan ole Darcyn lain mukaisia ra-keisia materiaaleja, vaan ne yleensä vuotavat rei'istä, on muovikalvojen lä-päisevyysarvovaatimusten asettamisen pohjana suositeltavampaa käyttää sallittavaa läpäisevää vesimäärää kuin läpäisevyysaika.

Eli kalvomaisen tuotteen vedenläpäisevyysvaatimus voidaan asettaa siten, että kalvon ja maatiivisteiden läpäisevät vesimäärät esimerkiksi 12 tunnin ai-kana ovat yhtäsuuret. Tällöin erikoismaatiivisteeltä vaadittavan laboratorios-sa mitatun vedenläpäisevyyskertoimen (5×10^{-8} m/s) mukaan 70 cm paksu maatiiviste, jonka päällä on 30 cm vettä, läpäisee vettä 3.1 litraa 12 tunnis-sa ja maastossa vaadittavan vedenläpäisevyyskertoimen (5×10^{-6} m/s) mu-kaan 308 litraa 12 tunnissa. Kun näillä vesimäärillä lasketaan esimerkiksi muovitetulta geotekstiililtä vaadittava läpäisevyysarvo (vedenpaine korkeus 30 cm ja kalvon paksuus 0.375 mm) saadaan vastaavissa tapauksissa vaadittaviksi läpäisevyysarvoiksi 8.9×10^{-11} m/s ja 8.9×10^{-9} m/s. Tärkeillä pohjavesialueilla maastossa vaadittavan maatiivisteiden läpäisevyysarvon mukaan laskettua arvoa ei kuitenkaan tule käyttää, koska 12 aikana vaaral-lista nestettä ei saisi kulkeutua yhtään tuotteen läpi. Vaikka maatiivisteiden ja kalvon läpäisevyys on yhtäsuuri, alkaa ohuella kalvolla läpäisy hyvin nope-asti nesteen joudutta kalvon päälle, kun taas maatiivisteella mainitun maa-rän läpäisy alkaa vasta 12 tunnin kuluttua.

Sauman tiiviys

Tiivistämisessä käytettävien geosynteettisten tuotteiden saumaustapojen tu-lee olla sellaiset, että riittävän tiivis sauma saadaan aikaan. Bentoniittima-toilla sauman tiivisyvaatimus voidaan esittää läpäisevyysvaatimukseen pohjautuen, jolloin sauman vedenläpäisevyyden tulee olla sellainen, ettei läpäisyä 12 tunnin aikana tapahdu. Saumalta vaadittava vedenläpäisevyys-kerroin saadaan kaavasta

$$k_{\text{vaad}} = l^2 / (ht)$$

l on	sauman pituus, m
t	läpäisy aika, s
h	veden paine korkeus, m

Jos bentoniittimaton sauman pituus on 30 cm, saadaan vaadittavaksi ve-denläpäisevyyskerttoimeksi 6.9×10^{-6} m/s 30 cm:n paine-erolla. Muovikal-voilla tai vastaavilla tiivis sauma saadaan aikaan hitsaamalla ja tarkastamal-la sauman tiivisy ainettarikkomattomilla menetelmillä.

2.3 Geosynteettisten tuotteiden ominaisuudet

2.3.1 Laboratoriokokeet ja tulokset

Laboratoriokokeissa tutkittiin kahden valmistajan bentoniittimattoja (Algol Oy:n maahantuomat Bentofix B ja Bentofix B (uusi malli; NW), sekä Kaitos Oy:n maahantuomat Claymax 200 R ja Claymax 500 SP sekä yhtä muovitettua kuitukangasta (Kaitoksen maahantuoma Intermembrane 161). Lisäksi tutkittiin olemassaolevista luiskasuojauksista ylöskaivetun bitumiemulsiolla käsitellyn kuitukankaan ja muovitetun kuitukankaan vedenläpäisevyyksiä.

Kaikissa tutkituissa bentoniittimatoissa käytetty bentoniitti on sodiumbentoniittia (natriumbentoniitti, montmorilloniitti). Bentofix-matoissa bentoniitti on sijoitettu kahden kuitukankaan väliin, jonka jälkeen kuitukankaat on neulattu yhteen. Neulaus tarkoittaa sitä, että tuotteessa on neliötä kohti tuhansia kohtia, jossa bentoniitin molemmilla puolilla olevat kuitukankaat on liitetty ohuilla bentoniitin läpi kulkevilla kuidulla (neulauksella) yhteen. Claymax-matoista tavallisessa Claymax 200 R:ssä bentoniitti on sijoitettu kahden kudotun kankaan väliin. Kankaiden välissä oleva bentoniitti on kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi liitetty kankaisiin liimaamalla. Käyttövaiheessa liima liukenee, eikä kankaiden väliin enää jää mitään niitä yhdistäviä siteitä. Alapuolinen kangas on lisäksi suuriaukkoinen, mikä mahdollistaa bentoniitin läpi kulkeutumisen esimerkiksi sauman kohdalla, jolloin saumakohdassa ei tarvitse käyttää erillistä bentoniittijauhetta. Claymax 500 SP:ssä bentoniitti on niinikään kahden kudotun kankaan välissä ja kankaat on liitetty toisiinsa ompelemalla. Ompeleet kulkevat tuotteen valmistussuunnassa n. 5 cm:n etäisyydellä toisistaan olevina riveinä.

Lisäksi tutkittiin olemassaolevasta luiskasuojauksesta (Hyrylä; liikenneympyrjän alikulku) ylöskaivetun muovitetun kuitukankaan (Intermembrane 161) vedenläpäisevyyttä. Laadunvalvontaohjeen laatimiseen liittyen on tutkittu myös maasta esiinkaivetun bitumiemulsiolla käsitellyn kuitukankaan vedenläpäisevyyttä. Bituminoidun kuitukankaan vedenläpäisevyydet on esitetty erikseen jäljempänä.

Tutkittaville tuotteille suoritettiin seuraavat kokeet ja määritykset:

1. Tuotteiden neliöpainon määrittäminen kuivana
2. Tuotteiden paksuuden määrittäminen ja paisumiskoe bentoniittimatoilla
3. Vedenläpäisevyyden vertailukoe käsittelemättömällä tuotteella
4. Vedenläpäisevyyden venytetyllä tuotteella
5. Vedenläpäisevyyden kuivumis-kastumiskokeiden jälkeen
6. Vedenläpäisevyyden jäätyminen-sulamiskokeiden jälkeen
7. Vedenläpäisevyyden suolavesikäsittelyn jälkeen
8. Vedenläpäisevyyden asennuskokeiden jälkeen
9. Vedenläpäisevyyden ns. footprint-kokeiden jälkeen
10. Tuotteen ja maamateriaalin välisen kitkankertoimen määrittäminen
11. Erosion vastustuskykyä selvittävä koe
12. Saumojen tiiviyyttä arvioiva koe

Seuraavassa on esitetty suoritettujen kokeiden tulokset ja kokeiden suorittamiseen mahdollisesti liittyvät havainnot ja kommentit.

1. Tuotteiden neliöpainon määrittäminen kuivana

Tuotteen neliöpainon määrittämisellä varmistetaan, että tuote on ilmoitetun painonsa mukainen. Tuotteiden neliöpainot määritettiin käyttäen 0.75 m² kokoista näytepalaa. Tuotteista mitatut neliöpainot sekä tuotteista ilmoitetut neliöpainot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tuotteiden painot ja neliöpainot asennuskokeessa käytetyistä koekappaleista mitattuna. Koekappaleen koko 0.75 m² (1.5 x 0.5m²).

Tuote	paino	paino	ilmoitettu	
	g	g/m ²	paino g/m ²	bentoniittia g/m ²
Claymax 500 SP	3775.1	5033.5	5070	4900
Claymax 200 R	3794.8	5059.7	5070	4900
Bentofix B	3038.5	4051.3	3700	3000
Bentofix B (NW)	3322.1	4429.5	3700	3000
Intermembrane	126.9	169.2	161	

Tuotteista määritetyt neliöpainot vastasivat hyvin tuotteille ilmoitettuja arvoja, lukuunottamatta Bentofix B -maton uutta mallia, jonka neliöpaino oli n. 20 % ilmoitettua suurempi.

2. Tuotteiden paksuuden määrittäminen ja paisumiskoe bentoniittimatoilla

Tuotteen paksuusmäärittämisellä ja paisumiskokeella selvitetään tuotteen paisumiskapasiteetti mm. päällysteen halkeamisvaaran takia ja vedenläpäisevyyskertoimen laskemista varten läpäisevyyskokeista.

Bentoniittimattojen paksuus kuivana määritettiin 5 havainnon keskiarvona 4 kPa:n kuormituksen alla. Bentoniittimatoilla suoritettussa paisumiskokeessa kuivasta tuotteesta leikattiin ödometrirenkaaseen (halkaisija 5.04 cm) sopiva näyte. Näytteelle asetettiin 4 kPa suuruinen kuormitus. Ödometrin mittakello nollattiin vuorokauden kuluttua näytteen laitteeseen asentamisesta ja ödometriin lisättiin vesi. Bentoniittimattojen paksuuden kehitystä seurattiin aina 118 vuorokauteen asti.

Intermembrane-kalvon paksuus mitattiin käsittelemättömästä kalvosta 2 kPa:n ja 4 kPa:n kuormituksen alaisena 10 havainnon keskiarvona. Intermembrane-kalvolla ei paisumiskoetta suoritettu.

Tuotteiden paksuudet kuivina sekä bentoniittimattojen paksuudet eri ajan-kohtina veden lisäämisen jälkeen on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Tuotteiden kuivapaksuudet ja bentoniittimattojen paisuminen ödometrikokeessa 4 kPa:n kuormituksella.

Tuote	Paksuus mm					
	Kuiva	7 h 20 min	3 d	20 d	66 d	118 d
Claymax 500 SP	6.14	8.30	11.24	16.82	19.03	18.93
Claymax 200 R	5.56	7.76	11.68	15.80	16.44	16.47
Bentofix B	6.64	7.04	8.05	9.78	9.91	9.89
Bentofix B (NW)	7.79	9.19	10.36	12.58	12.86	12.91
Intermembrane	0.45 (4 kPa)					
	0.44 (2 kPa)					

Bentoniittimattojen paisuminen jatkuu verraten pitkään. Claymax-matoilla paksuus kasvoi kahteen kuukauteen saakka ja Bentofix-matoillakin noin kolmeen viikkoon saakka. Paksuuden lisäys on ollut suurinta Claymax-matoilla, 11...13 mm (196 % ... 210 %) ja vähäisintä Bentofix-matoilla, 3...4 mm (50...65 %).

3. Vertailukoe käsittelemättömällä geosynteettisellä tuotteella

Suoritettujen erilaisten rasituskokeiden vaikutusten selvittämiseksi suoritettiin vedenläpäisevyyskoe tuotteilla ensin käsittelemättömällä geosynteettisellä tuotteella. Kaikissa suoritetuissa kokeissa vedenläpäisevyys määritettiin laitteessa, jossa tuotteen ympyränmuotoisen vettäläpäisevän osan halkaisija oli 15.0 cm. Koska bentoniittimatot ja muovikalvot läpäisevät heikosti vettä, kokeet pyrittiin suorittamaan 10 metrin vesipaineen alla. Tällä paineella tuotteen läpi tullutta vesimäärää yleensä mitattiin noin vuorokauden ajan. Bentoniittimattojen annettiin kastua yleensä vähintään yksi vuorokausi ennen ko. paineella tapahtuvan vedenläpäisyn määrittämistä. Vedenläpäisevyyskokeissa tuotteen alla pohjana oli reikälevy ja teräslankaverkko. Tuotteen päällä oli muoviverkko ja veden noste huomioituna 2 kPa:n suuruinen kuormitus, mikä vastaa n. 20 cm paksuista hiekkakerrosta. Tuotteiden vedenläpäisevyys määritetään kaavalla

$$k = \frac{Q d}{A H t}$$

missä

- k on tuotteen vedenläpäisevyys, m/s
 Q tuotteen läpi tullut vesimäärä, m³ (tai ml x 1 x 10⁻⁶)
 d tuotteen paksuus, m
 A tuotteen vettä läpäisevän osan pinta-ala, m²,
 (käytetyssä laitteessa 0.01767 m²)
 H vedenpaine korkeus, m
 t tuotteen läpi tulevan vesimäärän mittausaika, s

Tuotteen paksuutena eri kokeiden tuloksia laskettaessa on käytetty ödometrikokeesta 3 vuorokauden kohdalta mitattua näytteen kokonaispaksuutta, jossa on mukana myös tuotteiden molemmilla puolilla olevat kudotut kankaat tai kuitukankaat. Claymaxin läpiommellulla tuotteella bentoniitin paksuus ompeleiden kohdalla on jonkin verran pienempi ja vastaavasti jonkin verran suurempi ompeleiden väliin jäävällä alueella. Bentofix-matoilla tuotteen molemmin puolin olevat kuitukankaat muodostavat kokonaispaksuuteen nähden melko suuren osan tuotteen paksuudesta.

Suoritetuissa kokeissa tuotteille saadut vedenläpäisevyyden arvot ovat jonkin verran tuotteille ilmoitettuja arvoja suurempia. Taulukoissa on ilmoitettu vertailuluvut, k/k_{ilm} ja k/k_{vert} . Ensin mainitulla vertailuluvulla, k/k_{ilm} , tarkoitetaan mitatun vedenläpäisevyyden suhdetta tuotteelle ilmoitettuun vedenläpäisevyyteen. Claymax-matoilla ilmoitettu läpäisevyys on 10.7 metrin vedenpaineella 2×10^{-12} m/s; Bentofix-matoilla tuotteen läpäisevyyttä on verrattu tuotteen valmistajan sisäiseen laadunvalvonnan rajaan, jonka mukaan tuotteen vedenläpäisevyys on enintään 8×10^{-11} m/s. Lisäksi taulukoissa on rasisuskokeiden osalta ilmoitettu tuotteelle saadun vedenläpäisevyyden suhde, k/k_{vert} , vertailukokeissa 10 metrin paineella saatuun vedenläpäisevyyteen. Taulukossa on ilmoitettu lisäksi havaintotuloksista laskettu tuotteen läpäisevä vesimäärä litroissa 1.0 m^2 kohti 1 tunnissa. Tämä vesimäärä mahdollistaa tuotteiden keskinäisen vertailun, mutta ei vastaa todellisuutta, koska sisäluiskassa esiintyvän vesipatsaan korkeus on yleensä renkaan uppoamissyvyyden lisäksi noin 0.1...0.2 m, ja kokeissa on ajan säästämiseksi käytetty yleensä 10 m vedenpaine korkeutta.

Tuloksia tulkittaessa on muistettava, että bentoniittimattojen vedenläpäisevyys on suuresti riippuvainen tuotteen päällä olevan kuormituksen suuruudesta, ja suoritetuissa vedenläpäisevyysskokeissa käytetty kuormitus on pieni, koska luiskasuojauksessa tuotteen päälle ei välttämättä tule suurta kuormitusta. Eroja valmistajan ilmoittamiin tuloksiin nähden aiheutuu myös erilaisista koejärjestelyistä. Suoritetuissa kokeissa ilmeni myös bentoniittimattojen taipumus aina painetta nostettaessa läpäistä vettä melko runsaasti, mutta läpäisevyys pieneni ajan kuluessa paineen pysyessä vakiona. Laaja koeohjelma ei kuitenkaan antanut mahdollisuutta kovin pitkiin seuranta-ajakoihin, joten saatuja vedenläpäisevyyden arvoja on pidettävä eräänlaisina läpäisevyyden maksiarvoina. Lisäksi ilman maamateriaalin läsnäoloa suoritettut koetyypit eivät parhaalla mahdollisella tavalla sovellu eri tyyppisille tuotteille. Koelaitteiston ja koemenetelmän virheitä on käsitelty jäljempänä.

Vertailukokeissa eri tuotteille saadut vedenläpäisevyydet on esitetty taulukossa 6.

Vertailukokeessa tuotteiden vedenläpäisevyyksille saatiin 3...12 kertaa suurempia arvoja kuin tuotteille ilmoitetut arvot ovat.

Taulukko 6. Vedenläpäisevyydet vertailukokeessa.

Tuote	$h/Q/t$ m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k_{ilm}
Claymax 500 SP	10.0/30/87000	0.07	2.19×10^{-11}	11.9
Claymax 200 R	10.0/16/81600	0.04	1.30×10^{-11}	6.5
Bentofix B	10.0/465/92220	1.03	2.29×10^{-10}	2.9
Bentofix B (NW)	10.0/555/86340	1.31	3.76×10^{-10}	4.7
Intermembrane	10./1300/83640	3.17	3.96×10^{-11}	-

4. Vedenläpäisevyyskoe venytetyllä tuotteella

Venytetyssä tilassa suoritettavalla vedenläpäisevyyskokeella selvitetään tuotteen herkkyys mahdollisista asennuspohjan epätasaisuuksista aiheutuille vaikutuksille.

Venytettyä tuotetta testattaessa tuote asetettiin kuivana vedenläpäisevyyden määrittelysseliin, jossa se muovista rei'itettyä pallokalottia käyttäen venytettiin kaksiakselisessä tilassa 10 %. Vedenläpäisevyydet venytetyssä tilassa on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Vedenläpäisevyydet venytetyllä tuotteella.

Tuote	$h/Q/t$ m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k_{ilm}	k/k_{vert}
Claymax 500 SP	5.0/45/63900	0.14	8.96×10^{-11}	44.8	4.1
Claymax 200 R	2.5/15/86160	0.04	4.69×10^{-11}	23.0	3.5
Bentofix B	10./1250/85320	2.98	6.67×10^{-10}	8.3	2.9
Bentofix B (NW)	10./30/69660	0.09	2.52×10^{-11}	0.32	0.07
Intermembrane	5.0/2970/84960	7.12	1.70×10^{-10}	-	4.3

Venytetyssä tilassa suoritettavassa kokeessa Claymax-matoilla ilmeni bentoniitin pursumista pois kudottujen kankaiden joko luonnostaan suurista aukoista tai loimi- ja kudelankojen venyessä suurentuvista aukoista. Käytännössä on aina varmistuttava asennuspohjan tasaisuudesta ja käytettävä kuitukangasta tuotteen alla (louhetta tms. vastaan) niissä kohteissa, joissa kuitukangasta käytetään myös tiivistemaan alla. Luiskasuojauksissa ohjeen /1/ mukaan tiivistemaan alla käytetään kuitukangasta, jos alustana on louhe tai sellainen sora tai murske, jonka 2 mm läpäisyprosentti on alle 50 %.

Bentofix-matoilla venytetyssä tilassa suoritetuilla kokeilla saadut vedenläpäisevyyden arvot sen sijaan ovat lähes pienimmät näillä matoilla saaduista vedenläpäisevyyksistä. Pienet vedenläpäisevyyden arvot johtuvat toisaalta

läpeneulattujen mattojen kyvystä pitää bentoniitti hyvin paikoillaan ja toisaalta bentoniitin molemmiin puolin olevasta kuitukankaasta, joka estää bentoniittikerroksen ohentumista tuotteen muodonmuutoksista huolimatta. Venytyksen takia tuotteeseen kohdistui myös todennäköisesti suurempi kuormitus kuin muissa kokeissa, ja bentoniittimattojen vedenläpäisevyys on riippuvainen maton päällä olevasta kuormituksen suuruudesta. Kaikkien bentoniittimattojen vedenläpäisevyys pienenee maton päällä olevan kuormituksen kasvaessa.

Venytetyllä tuotteella kokeessa saadut bentoniittimatoille saadut vedenläpäisevyyden arvot olivat 0.3...45-kertaisia tuotteille ilmoitettuihin arvoihin nähden ja 0.1...4-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden.

5. Vedenläpäisevyyskoe kuivumis-kastumissykliä jälkeen

Kuivumis-kastumissykliä jälkeen suoritettavalla vedenläpäisevyysmäärittelyllä varmistetaan, ettei tuotteen läpäisevyys haitallisesti muutu mahdollisten toistuvien kastumisten ja kuivumisten takia. Koetta varten näytteiden annettiin kokeissa kostua ja kuivua neljästi ennen vedenläpäisevyyden määrittämistä. Kostuttaminen tapahtui 2 vrk aikana 4 kPa kuormituksen alla ja kuivattaminen uunissa 60 °C:n lämpötilassa noin kahden viikon ajan, ensin 2...3 vrk painon alla ja sen jälkeen ilman painoja, koska kuivuminen muuten olisi ollut liian hidasta. Vedenläpäisevyys määritettiin neljän kuivumis-kastumissyklin jälkeen. Vedenläpäisevyyskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Vedenläpäisevyydet kuivumis-kastumis-syklien jälkeen.

Tuote	$h/Q/t$ m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k_{ilm}	k/k_{vert}
Claymax 500 SP	10.0/855/76380	2.28	7.10×10^{-10}	355	32.4
Claymax 200 R	10.0/35/233340	0.03	9.91×10^{-12}	4.96	0.76
Bentofix B	10.0/15/1800	1.70	3.79×10^{-10}	4.74	1.65
Bentofix B (NW)	10.0/33.1/83400	0.08	2.32×10^{-11}	0.29	0.061
Intermembrane	10.0/760/88140	1.76	2.19×10^{-11}	-	0.55

Kuivumis-kastumissykliä suorittamisen yhteydessä havaittiin, ettei bentoniittimattoja saada kuivumaan riittävän nopeasti huoneen lämpötilassa. Kuivattaminen suoritettiin sen vuoksi uunissa 60 °C:n lämpötilassa noin kahden viikon ajan, eikä kaikkia koekappaleita saatu edes siinä ajassa täysin kuiviksi. Pitkä kuivumisaika osoittaa, etteivät bentoniittimatot luonnossa maassa luiskasuojauksissa ollessaan kerran kastuttuaan enää täysin kuivu.

Tuotteiden vedenläpäisevyys määritettiin neljän kuivumis-kastumissyklin jälkeen. Sykliä jälkeen bentoniittimatoille saadut vedenläpäisevyyden arvot

olivat yleensä 0.3...5-kertaisia tuotteille ilmoitettuihin arvoihin nähden ja 0.1...2-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden. Claymaxin läpiommellulla tuotteella vastaavat läpäisevyyden kertoimet olivat 355 ja 32. Tämä saattaa johtua kuivatuksessa käytetyn korkean lämpötilan vaikutuksista tuotteeseen. Kuivatussykliä loppuvaiheessa näytteitä kuivatettiin ilman kuormitusta, minkä takia mattojen kutistuminen oli hyvin voimakasta. Claymax-matoilla koekappaleiden keskeltä mitattu leveys oli viimeisen kuivatuksen jälkeen keskimäärin 20 cm ja Bentofix-matoilla keskimäärin 24 cm, kun koekappaleiden alkuperäiset sivumitat olivat 30 cm.

6. Vedenläpäisevyyskoe jäätymis-sulamissykliä jälkeen

Jäätymis-sulamissykliä jälkeen suoritettavalla vedenläpäisevyyismäärityksellä varmistetaan, ettei tuotteen läpäisevyys haitallisesti muutu toistuvan jäätymisen ja sulamisen takia. Kokeessa näyte kostutettiin ensin vedessä 2 vrk kuormitettuna 4 kPa:n kuorman alla. Tämän jälkeen säilytyslaatikoista poistettiin ylimääräinen vesi ja koekappaleet jäädytettiin - 5°C asteen lämpötilassa yhden vuorokauden ajan edelleen kuormitettuna. Jäädytyksen jälkeen näytteen annettiin ensin sulaa ja se kostutettiin uudelleen ennen seuraavan jäädytyksen suorittamista. Kaikkiaan jäädytys-sulatus -syklistä tehtiin 4 kertaa ennen vedenläpäisevyyden määrittämistä. Vedenläpäisevyyskertoimet jäädytys-sulatus -sykliä jälkeen on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Vedenläpäisevyydet jäätymis-sulamis-sykliä jälkeen.

Tuote	$h/Q/t$ m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k_{ilm}	k/k_{vert}
Claymax 500 SP	10.0/55/16320	0.69	2.16×10^{-10}	108.0	9.9
Claymax 200 R	10.0/50/85560	0.12	3.86×10^{-11}	19.3	3.0
Bentofix B	10.0/320/82500	0.79	1.77×10^{-10}	2.2	0.77
Bentofix B (NW)	10.0/695/68460	2.07	5.95×10^{-10}	7.4	1.6
Intermembrane	10.0/664/86040	1.57	1.97×10^{-11}	-	0.50

Jäätymis-sulamissykliä jälkeen suoritettujen vedenläpäisevyyskokeiden mukaan voidaan havaita, ettei tuotteiden jäätymis- sulamissyklistä haitallisesti alentaneet vedenläpäisevyyttä. Kokeissa saadut vedenläpäisevyyden arvot olivat 2...108-kertaisia tuotteille ilmoitettuihin arvoihin nähden ja 0.8...10-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden.

7. Vedenläpäisevyyskoe suolavesikäsittelyn jälkeen

Suolavesikäsittelyn jälkeen suoritettavalla vedenläpäisevyyismäärityksellä varmistetaan, ettei tuotteen läpäisevyys haitallisesti muutu tien hoitamisen käytettävän suolan takia. Suolavesikäsittelyssä näytteiden annettiin kostua ensin puhtaassa vedessä kuusi vuorokautta 4 kPa:n kuormituksen alla. Tämän jälkeen vesi poistettiin ja tilalle laitettiin suolavettä, jossa veteen oli liuotettu maantiesuolaa (NaCl) 0.4 g litraa kohti. Tällöin veden kloridipitoi-

suus on 250 mg/l. Tämän suuruisia kloridimääriä on mitattu teiden pääviemäriputkissa /6/. Vedenläpäisevyys määritettiin 20 vuorokauden suolavesisäilytyksen jälkeen. Vedenläpäisevyydet on esitetty taulukossa 10.

Myöskään suolavesikäsitteilyn jälkeen suoritetuissa vedenläpäisevyyismäärityksissä näytteiden läpäisevyydet eivät haitallisesti alentuneet. Bentoniittimatoille saadut vedenläpäisevyyden arvot olivat 0.8...135-kertaisia tuotteille ilmoitettuun arvoihin nähden ja yleensä 0.3...20-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden. Merkille pantavaa sensijaan on Inter-membrane-kalvon pieni vedenläpäisevyys, joka on ainoastaan lähes 400-osa kalvolle vertailukokeessa saadusta vedenläpäisevyyden arvosta.

Taulukko 10. Vedenläpäisevyydet suolavesikäsitteilyn jälkeen.

Tuote	h/Q/t m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k _{ilm}	k/k _{vert}
Claymax 500 SP	1.0/26/69480	0.08	2.38x10 ⁻¹⁰	119.0	10.9
	2.5/3.5/3300	0.22	2.70x10 ⁻¹⁰	135.0	12.3
	5.0/5.0/3780	0.27	1.68x10 ⁻¹⁰	84.0	7.7
	10./153/83340	0.37	1.17x10 ⁻¹⁰	58.5	5.3
Claymax 200 R	1.0/2.3/5880	0.08	2.59x10 ⁻¹⁰	129.5	19.9
	2.5/34.5/58620	0.12	1.55x10 ⁻¹⁰	77.5	11.9
	5.0/11.5/7680	0.31	1.98x10 ⁻¹⁰	99.0	15.2
	10./111/94080	0.24	7.80x10 ⁻¹¹	39.0	6.0
Bentofix B	1.0/10/56340	0.04	8.08x10 ⁻¹¹	1.01	0.35
	2.5/58/55680	0.21	1.89x10 ⁻¹⁰	2.36	0.83
	5.0/54/59760	0.18	8.22x10 ⁻¹¹	1.03	0.35
	10/340/230100	0.30	6.72x10 ⁻¹¹	0.84	0.29
Bentofix B (NW)	1.0/88/77940	0.23	6.61x10 ⁻¹⁰	8.26	1.76
	2.5/19/7260	0.53	6.13x10 ⁻¹⁰	7.66	1.63
	5./1171/72780	3.28	1.88x10 ⁻⁹	23.5	5.0
	10/1470/85700	3.50	1.00x10 ⁻⁹	12.5	2.66
Intermembrane	1.0/0.5/1200	0.09	1.06x10 ⁻¹¹	-	0.027
	2.5/0.5/1680	0.06	3.03x10 ⁻¹²	-	0.077
	5.0/11/52200	0.04	1.07x10 ⁻¹²	-	0.027
	10.0/3.7/91500	0.01	1.02x10 ⁻¹³	-	0.0026

8. Vedenläpäisevyys asennuskokeen jälkeen

Asennuskokeen jälkeisellä vedenläpäisevyysskokeen suorituksella varmistetaan, ettei tuote ole rikkoutunut asennuksen yhteydessä sen päälle tulevan maamateriaalin vaikutuksesta. Asennuskokeessa käytettiin tuotteesta leikatua 1.5 x 0.5 m² suuruista näytekappaletta. Näyte asennettiin kuivana sisämitoiltaan saman suuruiseen laatikkoon routaeristelevyn (Stryrofoam HI-50, tiheys 38...40 kg/m³, paksuus 2 cm) päälle. Tämän jälkeen tuotteen

päälle lapioitiin 15 cm kerros soratien kulutuskerrosmursketta. Murskeen levittämisen jälkeen murskekerros tiivistettiin tärylevyllä, joka juuri mahtui kulkemaan laatikossa. Tärylevyn pohjamitat olivat 47 cm x 42 cm ja paino n. 80 kg. Tiivistyksessä käytettiin kuutta yliajokertaa, jolloin tiivistystulos vastaa likimain 90 % tiiviysastetta normaaleissa olosuhteissa /5/ tai todellisessa kohteessa esim. ajoneuvojen liikkumisesta aiheutuvia rasituksia. Tiivistyksen jälkeen näytekappale poistettiin varovasti ja siitä leikattiin koekappaleet vedenläpäisevyyden määrittämistä varten.

Asennuskokeen jälkeen tuotteista mitatut vedenläpäisevyydet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Vedenläpäisevyydet asennuskokeen jälkeen.

Tuote	h/Q/t m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k _{ilm}	k/k _{vert}
Claymax 500 SP	1.0/4.0/7200	0.11	3.43x10 ⁻¹⁰	176.5	16.1
	2.5/14.5/69300	0.04	5.32x10 ⁻¹¹	26.6	2.4
	5.0/24/23400	0.21	1.30x10 ⁻¹⁰	65.0	5.9
	10.0/84/86160	0.20	6.20x10 ⁻¹¹	31.0	2.8
Claymax 200 R	1.0/4.5/12720	0.07	2.34x10 ⁻¹⁰	117.0	18.0
	2.5/7.5/8700	0.18	2.28x10 ⁻¹⁰	114.0	17.5
	5.0/24/69840	0.07	4.54x10 ⁻¹¹	22.7	3.5
	10.0/32/86400	0.08	2.45x10 ⁻¹¹	12.3	1.9
Bentofix B	1.0/12/9600	0.25	5.69x10 ⁻¹⁰	7.1	2.5
	2.5/54/6960	1.58	1.41x10 ⁻⁹	17.6	6.2
	5.0/830/58500	2.89	1.29x10 ⁻⁹	16.1	5.6
	10/2535/82080	6.29	1.41x10 ⁻⁹	17.6	6.2
Bentofix B (NW)	1.0/3.5/3480	0.19	5.89x10 ⁻¹⁰	7.4	1.6
	2.5/154/77160	0.41	4.68x10 ⁻¹⁰	5.9	1.2
	5.0/48/7200	1.36	7.81x10 ⁻¹⁰	9.8	2.1
	10/2305/84900	5.53	1.59x10 ⁻⁹	19.9	4.2
Intermembrane					
koekappale I	0.5/740/900	167.5	4.19x10 ⁻⁸	-	1058
koekappale II	0.5/2545/75540	8.86	1.72x10 ⁻⁹	-	43.4
Hyrylästä maasta					
esiinkaivetut					
koekappaleet					
0	0.5/1050/1200	178.3	4.46x10 ⁻⁸	-	1126
1	0.5/85.5/7140	2.44	6.10x10 ⁻¹⁰	-	15.0
2	0.5/1000/1800	113.2	2.83x10 ⁻⁸	-	714
3	0.5/900/600	305.5	7.64x10 ⁻⁸	-	1929

Asennuskokeiden jälkeen bentoniittimatoissa ei ollut havaittavissa silmämääräisesti mitään erityistä. Vedenläpäisevyyden kasvu näissä kokeissa oli kuitenkin muihin rasiuskokeisiin nähden jonkin verran suurempi: arvot olivat 6...177-kertaisia tuotteille ilmoitettuun arvoihin nähden ja 1...18-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden.

Sen sijaan Intermembrane-kalvossa muovipinnoitteessa (muovi mursketta päin) oli havaittavissa kauttaaltaan "kuluneita" kohtia, mutta varsinainaista kalvon ja kankaan rikkoutumista tai läpäistymistä ei ollut havaittavissa. Vedenläpäisevyydet olivat kuitenkin nousseet jopa n. 1000-kertaisiksi. Routalevy muodostaa kuitenkin verraten kovan pohjan tuotteelle. Jos tuotteen alla todellisuudessa on ainoastaan kiillattu murske tai pehmeä tiivistemaamateriaali saattavat soratien kulutuskerrosmurskeen kivet kokonaan painautua tuotteen läpi. Tuotteen asennusohjeen mukaisesti päälle tulevaa sorakerosta ei saisikaan tiivistää ja tuote asennetaan muovitettu puoli hienompirakeista maamateriaalia kohti. Luiskasuojauksessa tuotetta käytettäessä on suositeltavaa käyttää kuitukangasta kalvon suojauksena muuta kuin tiivistemaamateriaalia vastaan.

Myös Hyrylästä liikenneympyrän alikulun suojauksista elokuussa asennettujen ja marraskuussa esiin kaivettun näytteen testauksissa vedenläpäisevyydelle saatiin n. 2000-kertaiset arvot tuotteen vertailukokeissa (käsittelemätön näyte) saatuihin arvoihin nähden. Testausohjelman laajuuden vuoksi ei yleensä voitu suorittaa rinnakkaiskokeita, mutta Intermembrane-kalvojen osalta testattiin yhteensä 2 asennuskokeen ja 4 maasta esiinkaivettujen koekappaleiden näytettä. Pienimmillään asennuskokeessa olleen näytteen vedenläpäisevyys oli 43-kertainen ja maasta esiinkaivetun näytteen läpäisevyys 15-kertainen vertailukokeessa saatuun arvoon nähden.

Muissa rasiuskokeissa Intermembrane-kalvon läpäisevyys oli yleensä jopa vertailukokeen vedenläpäisevyyttä pienempi (4-kertainen venytettynä; 0.5-kertainen kuivumis-kastumissykleissä; 0.5-kertainen jäätymis-sulamissykleissä; 0.003-kertainen suolavesikäsitteilyn jälkeen). Tuotteelle ei ole toimitajan taholta ilmoitettu vedenläpäisevyyttä, ainoastaan mainittu tuotteen olevan vesitiivis.

9. Vedenläpäisevyys ns. footprint -kokeen jälkeen

Footprint -koetta varten tuotteesta leikattu näyte kostutettiin 4 kPa:n kuormituksen alla vuorokauden ajan. Tämän jälkeen näytteen päälle keskelle asennettiin metallikappale (vastaa esimerkiksi kengän alle jäänyttä kiveä), jonka koko oli 5.2 x 3.9 x 2.0 cm³. Tämän jälkeen metallipalaa puristettiin 80 kg painolla tuotetta vastaa kovalla alustalla. Välittömästi painamisen jälkeen tuotteista leikattiin vedenläpäisevyyslaitteistoon sopiva näyte. Näyte asennettiin vedenläpäisevyyden määrityslaitteistoon, jossa sen annettiin "tasaantua" 2 kPa:n jäykän kuormituksen alla noin vuorokausi ennen vedenläpäisevyyden määrittämistä.

Footprint-koe kuvaa tilannetta, jossa ennen tuotteen maakerroksella peittämistä bentoniittimatto on päässyt kostumaan, ja kostuneen tuotteen päällä

liikutaan esimerkiksi jalkaisin, tai, suurempaan mittakaavaan sovellettuna, kostuneen tuotteen päälle ajetaan maamateriaalia.

Tuotteilla kokeen jälkeen määritetyt vedenläpäisevyydet ja maton paksuudet metallipalan alla ennen metallipalan kuormittamista ja sen jälkeen on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Vedenläpäisevyydet footprint-kokeen jälkeen ja tuotteiden paksuudet ennen (h_0) ja jälkeen (h_1) metallipalan kuormittamista.

Tuote	$h/Q/t$ m/ml/s	Q l/m ² /h	k m/s	k/k_{ilm}	k/k_{vert}
Claymax	1.0/8/60900	0.03	8.35×10^{-11}	41.8	3.81
500 SP	2.5/5/12180	0.08	1.04×10^{-10}	52.0	4.75
h_0 13.36 mm					
h_1 5.90 mm					
Claymax	1.0/100/34: ei pidä vettä 1 vrk kuluttua puristamisesta				
200 R	1.0/11.6/64920	0.04	1.18×10^{-10}	59.0	9.07
h_0 13.00 mm	2.5/7/13500	0.11	1.37×10^{-10}	68.5	10.5
h_1 1.95 mm					
Bentofix B	1.0/19.4/77700	0.05	1.14×10^{-10}	1.43	0.50
h_0 7.75 mm	2.5/14/15600	0.18	1.63×10^{-10}	2.04	0.71
h_1 7.00 mm					
Bentofix B (NW)	1.0/44/75900	0.12	3.40×10^{-10}	4.25	0.90
h_0 10.02 mm	2.5/15.9/13800	0.24	2.70×10^{-10}	3.38	0.72
h_1 8.55 mm					

Suoritetuissa footprint-kokeissa läpineulatuilla Bentofix-matoilla saatiin poikkeuksellisen pienet vedenläpäisevyyden arvot. Ne olivat 1...4-kertaisia tuotteille ilmoitettuihin arvoihin nähden ja 0.5...0.9-kertaisia tuotteille vertailukokeissa saatuihin arvoihin nähden. Claymax-matoilla bentoniitti siirtyi puristuskappaleen alta voimakkaasti pois. Läpiommellulla matolla puristuskohda korjaantui kuitenkin lähes täysin vuorokauden "tasaantumisaajan" kuluessa (läpäisevyys n. 5-kertainen vertailukokeen arvoon nähden). Tavallinen Claymax-matto, josta puristamisen jälkeen näkyi läpi puristuskohdasta korjaantui kahdessa vuorokaudessa puristamisesta.

Käytännössä kokeessa simuloitua tilannetta ei saisi päästä syntymään, mutta mm. kohteiden seurannan yhteydessä bentoniittimaton kastumista ja sen päällä liikkumista ennen sen peittämistä esiintyi.

Mikäli kostumaan päässeessä matossa tällainen vaurioitunut kohta peitetään maalla välittömästi vahingoittumisen jälkeen, ei tasaantumista luonnos-

sa ehkä pääse tapahtumaan ja vaurioituneeseen tuotteeseen saattaa jäädä paremmin läpäisevä alue.

Kun bentoniittimatto kohteessa on asennettu, sen päällä liikkumista tulee kuivanakin välttää ja matto on pyrittävä peittämään mahdollisimman nopeasti sen levittämisen jälkeen. Bentofix-matot kestävät kuitukankaiden läpi-neulantansa ja hitaamman vedenimeytymisensä takia liikkumista ja mahdollista tuotteen vähäistä kastumista paremmin, mutta näilläkin tuotteilla tarpeetonta liikkumista ja maton kastumista ennen peittämistä tulee välttää.

10. Tuotteen ja maamateriaalin välisen kitkansuhteen määrittäminen

Bentoniittimattojen ja muovitetun kuitukankaan kitkakerroin määritettiin isolalla rasialeikkauskoelaitteella ($300 \times 300 \text{ mm}^2$) käyttäen vertailumateriaalina Ojakkalan hiekkaa. Ojakkalan hiekka on tasarakeista hiekkaa, jonka raekoko $D_{50} = 0.60 \text{ mm}$ ja raekokosuhte $C_u = 2.65$.

Kokeissa käytettiin vähintään yhden vuorokauden 4 kPa kuormituksen alla kostutettua näytettä. Käytetyt pystyjännitykset olivat: 7 , 15 ja 28 kPa ja leikkausnopeutena $0,5 \text{ mm/min}$. Kokeet suoritettiin siten, että hiekka tuli tuotteiden luiskasuojauksessa ylöspäin olevaa pintaa vastaan, Intermembrane-kalvolla muovitettu puoli hiekkaa päin. Itse leikkaus suoritettiin tuotteiden valmistussuunnassa.

Kokeen aikana mitattiin leikkausvoimaa, vaaka- ja pystyssiiirtymää. Tuloksia on tarkemmin esitetty VTT:n TGL:n tutkimusraportissa 150. Tuotteiden kitkakulmat on esitetty taulukossa 13, samoin vertailumateriaalina käytetyn Ojakkalan hiekan kitkakulman arvot. Taulukossa 13 on myös esitetty ko. tuotteiden ja Ojakkalan hiekan kitkakertoimien suhteet. Suhteen määrittämisessä on käytetty kitkakulman residuaaliarvoa, joka vastaa paremmin ko. siirtymätasoa. Lisäksi taulukossa on esitetty suurin luiskan kaltevuus, jossa tuote Ojakkalan hiekkaa vastaan vielä pysyy. Näissä kaltevuuksissa on huomioitu hiekan kitkakulmassa osavarmuuskerroin 1.25 . Todellisessa tilanteessa osavarmuuskerroin tai varmuuskerroin valitaan esimerkiksi julkaisun "Tiegeotekniikan yleiset suunnitteluperusteet" mukaan (luonnos 22.3.1993.)

On muistettava, että kokeissa ei määritetty tuotteiden sisäistä kitkakulmaa tai leikkauslujuutta eikä tuotteiden kankaiden vetolujuuksia. Kuitenkin, etenkin pitkissä luiskissa, myös näiden vaikutus luiskan käyttäytymiseen on huomioitava tapaus- ja tuotekohtaisesti.

Suurimmat kitkasuhteen arvot saatiin Bentofix B -bentoniittimatolla ja muovitetusta pinnastaan huolimatta Intermembrane-kalvolla, johon hiekkarakeet jonkin verran tunkeutuivat. Vedenläpäisevyyden määrittämisestä leikkauskokeen jälkeen ei tuotteelle kuitenkaan suoritettu. Claymaxin läpiomellulla matolla kitkasuhde todennäköisesti on tuotteen valmistussuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ompeleiden muodostamien ripojen takia (tavanomainen luiskasuojaus) suurempi kuin mitä valmistussuuntaan saatu kitkasuhteen arvo on. Saaduilla kitkasuhteiden arvoilla maamateriaalin pysyminen tuotteiden päällä tuskin aiheuttaa ongelmia tavallisissa luiskasuojauksissa. Sen si-

jaan pitkissä luiskissa tulee erikseen tarkastaa maamateriaalin varmuus liukumista vastaan. Mikäli Intermembrane-kalvon muovitettua puolta vastaan tiivistetään hienorakeista materiaalia, tulee muistaa, että jo vähän optimivesipitoisuutta suuremmalla vesipitoisuuden arvolla kitkakulma saattaa laskea puoleen alkuperäisestä arvostaan tai jopa tämän alle $/3/$.

Taulukko 13. Bentoniittimattojen ja muovitetun kuitukankaan kitkakulmat ja maan väliset kitkakulmat, -kertoimet, suurin luiskan kaltevuus ja kitkasuhde. Koemateriaalina käytetty Ojakkalan hiekkaa.

Tuote/Materiaali	Kitkakulma ϕ_{tm}	Kitkakerroin $\tan \phi_{tm}$	Suurin luiskan kaltevuus Ojakkalan hie- kalla, osavar- muuskerroin 1.25	Kitkasuhde $\tan \phi_{tm} / \tan \phi_m$
Claymax 500 SP	28,2	0,536	1:2,3	0,765
Claymax 200 R	26,6	0,501	1:2,5	0,716
Bentofix B	33,5	0,662	1:1,9	0,945
Bentofix B (NW)	28,9	0,552	1:2,3	0,788
Intermembrane	31,8	0,620	1:2,0	0,885
Ojakkalan hiekka				
- huippu ϕ_{mp}	40,0	0,839	1:1,5	1,20
- residuaali ϕ_m	35,0	0,700	1:1,8	1,00

Tuotteen ja Ojakkalan hiekan välisen kitkasuhteen määrittämisessä tuotteille saadut arvot vastaavat tavanomaisia geotekstiileille saatuja kitkasuhteita melko hyvin, eikä ainakaan lyhytaikaisissa kokeissa bentoniitin kankaan läpi tunkeutumisesta mahdollisesti aiheutuvaa kitkasuhteen alentumista tullut esiin. Taulukosta 13 voidaan havaita, että kyseisellä materiaali-tuote-yhdistelmällä maamateriaalin liukumista alkaa pitkissä luiskissa esiintymään jo luiskan kaltevuuksissa 1:2.5 (Claymax 200 R). Bentofix B -matolla kitkakulman (33.5°) ja kitkasuhteen (0.945) suuruudesta voidaan puolestaan havaita, että kontakti tällä matolla paljaaseen maamateriaaliin nähden on heikentynyt vain vähän.

11. Eroosion vastustuskykyä selvittävä koe bentoniittimatoilla

Bentoniittimattojen eroosioitumista selvitettiin kokeella, jossa kostutettu näyte asennettiin pystyjojen vedenläpäisevyyden määrittämiseen käytettävään laitteeseen pystyjojanauhan verkon päälle tuotteesta normaalisti ylöspäin tuleva puoli alaspäin. Tällöin tuotteesta veden virratessa mahdollisesti irtova bentoniitti kulkeutuu veden mukana pois. Laitteessa käytettävän näytteen koko on $0.1 \times 0.3 \text{ m}^2$. Näytettä painettiin verkkoa päin 4.2 kPa :n paineella.

Näytteiden painot kuivina mitattiin ennen kokeen alkua sekä kokeen jälkeen suoritettun kuivatuksen jälkeen.

Itse kokeessa juoksutettiin vettä tuotteen ja verkon välistä 1 tunnin ajan vedenpaine-eron ollessa 30 cm. Veden juoksutuksen jälkeen näyte kuivattiin uunissa 60 °C:n lämpötilassa ja ilmastoiitiin sen jälkeen huonekosteudessa. Eroosioitumisherkkyttä arvioitiin vedenjuoksutuksessa näytteestä irronneen bentoniitin määrän perusteella. Näytteiden painot ennen ja jälkeen kokeen suorituksen sekä painoerot ja näytteestä maksimissaan neliötä kohti irronnut bentoniittimäärä on esitty taulukossa 14.

Suurin painonmuutos neliometriä kohti kokeissa tapahtui Claymax 200 R -matolla, 305 g/m² ja pienin Bentofix B-matolla, 194 g/m². Bentoniittimatoilla painon alentuminen prosentteina näytteen painosta laskettuna on 3...4 %. Tämä kertoo kuitenkin ainoastaan tuotteista enimmillään irronneen bentoniitin määrän. Todellisuudessa bentoniittia ei välttämättä ole irronnut näin paljoa, koska matoissa oleva bentoniitti sisältää aina jonkin verran kosteutta, eikä näytekappaleita kuivattu ennen kokeen suorittamista. Todellisuudessa mattojen pinnalla tapahtuva virtaus ei ole yhtä voimakasta kuin suoritetuissa kokeissa. Lisäksi matosta mahdollisesti irtoava bentoniitti jää todennäköisesti maton pinnalle, mikä tässä kokeessa oli koejärjestelyin estetty.

Taulukko 14. Bentoniittimattojen painot ja maksimi painonmuutos eroosioitumiskokeessa.

Tuote	paino ennen koetta	paino kokeen jälkeen 2 vk. ilmastoin.		painon muutos max.	
	g	g	g/m ²	g	%
Claymax 500 SP	172.9	166.6	251.7	6.3	3.6
Claymax 200 R	184.7	177.4	305.1	7.3	4.0
Bentofix B	136.8	132.6	194.4	4.5	3.3
Bentofix B (NW)	142.5	137.1	248.2	5.4	3.8

12. Saumojen testaus

Saumojen testaus suoritettiin myös pystyjojanauhojen testaukseen käytettävässä laitteessa (näytekoko 0.1 x 0.3 m²) bentoniittimattojen osalta. Kokeessa kaksi bentoniittimattoa asetettiin kuivina päällekkäin laitteeseen, ja niiden annettiin kastua kuormituksen alaisena (voimarenkaalla aiheutettu kuorma 20 kPa). Veden tulosuunnassa alemman maton pää suljettiin kumimembraanilla, samoin kuin veden poistumissuunnassa ylemmän maton pää 5 cm:n matkalla. Näin estettiin virtauksen tapahtuminen muualla kuin itse saumassa. Saumat testattiin 20 kPa:n kuormituksen alla, joka vastaa n. 1 metrin paksuista maakerrosta. Pienemmillä staattisilla kuormilla koetta ei

saatu onnistumaan, koska näytteet eivät riittävästi tiivistyneet laitteen reunoja vastaan, vaan vesi pääsi virtaamaan maton ja laitteen välistä. Pienillä staattisilla painoilla myös Claymaxin läpiommellulla matolla muodostui selvä rako mattojen väliin ompeleiden kohdalla, koska matto tässä kohdassa paisui ompeleen ympärillä olevia kohtia vähemmän.

Käytetty vedenpaine-ero sauman testauksessa oli 70 cm ja sauman toimiva pituus 20 cm. Claymax-matoilla saumoissa ei käytetty bentoniittijauhetta. Bentofix B (NW) -matolla sauman läpäisevyys testattiin itsesaumautuvan saumaosan kohdalta (ilman bentoniittijauhetta) ja Bentofix B -mattojen saumauksessa saumaan asetettiin bentoniittijauhetta saumausohjeen mukaan n. 10 cm levyinen ja 2 cm paksuinen kerros (100 g/0.10 jm).

Intermembrane-kalvon saumankohdan läpäisevyys tarkistettiin saumatulla näytteellä suoritettussa vedenläpäisevyysskoeksessa, joka suoritettiin samalla laitteistolla kuin saumaamattomien koekappaleiden vedenläpäisevyyden määrittämien (ympyränmuotoinen näyte, jonka vettä läpäisevä osan halkaisija on siis 15.0 cm).

Sauman läpäisevyysarvon tulee läpäisy aikaan perustuen olla pienempi kuin 6.9×10^{-6} m/s 30 cm limitystä käyttäen. Tällöin saumakohdan läpäisyyn kuuluu aikaa 30 cm vesipainetta käyttäen 12 tuntia.

Sauman testaukskoeksissa saadut vedenläpäisevyydet on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Vedenläpäisevyydet tuotteiden saumojen testauksessa.

Tuote	h/Q/t m/ml/s	Q l/jm/h	k m/s
Claymax 500 SP	0.7/3.3/95700	0.001	6.75×10^{-9}
Claymax 200 R	0.7/44/101700	0.016	7.73×10^{-8}
Bentofix B	0.7/220/85260	0.093	2.21×10^{-7}
Bentofix B (NW)	0.7/18/85920	0.008	3.82×10^{-8}
Intermembrane			
koekappale I	1.0/1140/12000	3.420	2.42×10^{-9}
koekappale II	1.0/390/12780	1.098	7.77×10^{-10}

Saumojen testaus käytetyllä laitteistolla ei tarkalleen kuvaan mattojen käytäytymistä luonnossa. Etenkin Claymax-matoilla saumojen tiivistyminen luonnossa tapahtuu matoista saumaan kulkeutuvan bentoniitin ansiosta, ja koska käytetyssä koeksessa vesi ei päässyt virtaamaan näytteen tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa, merkittävää bentoniitin kulkeutumista ei voinut tapahtua. Myös Bentofix-matoissa, joissa molemmissa luiskasuojaussovellutuksessa saumakohdassa käytetään bentoniittijauhetta, jauheen kulkeutuminen ympärillä oleviin kuitukankaisiin on vähäistä. Kaikilla bentoniitti-

mattojen saumoilla saadut vedenläpäisevyyden arvot ovat kuitenkin huomattavasti vaadittua arvoa pienemmät.

Intermembrane-kalvolla saumakohta ei ollut muodostunut täysin tiiviiksi, tosin sauman päällä oleva kuormitus oli vain 2 kPa. Tavanomaisessa luiskasuojauksessa tuotteen asennussauma ei kuitenkaan muodosta merkittävää vuotokohtaa, koska tuotteen valmistuspituudet ovat huomattavan suuria (käytetyllä tuotteella 150 m/rulla, muut paksuudet 100...250 m/rulla) verrattuna bentoniittimattojen toimituspituuksiin (25...30 m/rulla). Sauman merkitys saattaa kuitenkin olla suuri erilaisten läpivientien, liikennemerkkien ja suojakaiteiden kohdalla, mikäli niissä joudutaan tekemään useita lähekkäisiä saumoja.

Claymax-matoilla suositeltu sauman limitsleveys on 15 cm ja Bentofix-matoilla 30 cm. Luiskasuojauksessa on suositeltavaa limittää kaikki bentoniittimatot vähintään 30 cm matkalta, koska asennuspohjan tasaisuudesta ei voida riittävästi varmistua ja koska mattojen liikkuminen saumakohdassa on mahdollista peittämisen ja tiivistämisen yhteydessä.

Vedenläpäisevyyسمääritysten virhelähteet

Suoritetuissa kokeissa bentoniittimatoilla saadut vedenläpäisevyyškertoimet ovat eräiltä osin jonkin verran suurempia, kuin mitä tuotteille on ilmoitettu. Suurimmalta osalta tämä johtunee käytetystä koelaitteistosta. Laitteessa käytetyn näytteen halkaisija on 21.5 cm. Näytteen kiinnittämiseksi ja sivulta tapahtuvan veden virtaamisen estämiseksi näyte puristettiin kehältään 3.25 cm pituiselta matkalta laitteen leukojen väliin, jolloin kokeessa tuotteen vettä läpäisevän osan halkaisijaksi jäi 15.0 cm. Käytetyllä näytteen kiinnitysmenettelmällä on kaksi heikkoutta: laidalta tapahtuva puristaminen työntää bentoniittia tuotteessa näytteen keskikohtaa päin, jolloin sen paksuus näytteen keskellä kasvaa, mutta puristuskohtien lähellä näytteen paksuus ohenee. Lisäksi Bentofix-matoissa, joissa bentoniittijauheen molemmin puolin on kuitukangas, vesi saattaa virrata ensin kuitukangasta pitkin tuotteen puristetulla osalla laitteen reunaan ja reunassa hyvinkin pienestä aukosta laitteen reunaa vastaan painautuvan bentoniitin ohi alempaan kuitukankaaseen, josta pitkin se edelleen pääsee mitattavaksi tuotteen läpäisevänä vesimääränä. Claymaxin läpiommellulla tuotteella samaa voi tapahtua puristusleukojen alla neulousten kohdalla jäävää uraa pitkin.

Lisäksi virhettä koetuloksiin aiheuttaa näytteiden usein moninkertainen käsittely ennen vedenläpäisevyyden määrittämistä. Kaikilla tutkituilla bentoniittimatoilla jo näytteiden leikkaamisen yhteydessä leikatun koekappaleen reunasta varisi pois bentoniittia jonkin verran, ja edelleen monissa rasisutuskokeissa, vaikka tuotteiden reunat olivat suljetut ilmastointiteipillä, bentoniitin poiskulkeutuminen on mahdollista näytettä käsiteltäessä ja leikattaessa.

Virhettä tuloksiin on aiheuttanut myös suoritettujen kokeiden määrään nähden erittäin tiukka aikataulu. Joidenkin kokeiden ja tuotteiden osalta oli havaittavissa näytteiden vedenläpäisevyyden pientymistä kokeen aikana. Osaltaan tämä saattoi johtua näytteiden puutteellisesta kyllästymisestä kokeen alkuvaiheessa, näytteen ja laitteen välissä mahdollisesti olevien pie-

nien rakojen tiivistymisestä bentoniitin kulkeutuessa niihin tai vedenpainetta nostettaessa tapahtuneesta bentoniitin tiivistymisestä. Koska käytettävissä oli ainostaan yksi koelaitteisto, koeaikataulun puitteissa ei ollut mahdollista pitää yhtä näytettä koelaitteistossa useita vuorokausia. Koska ödometrikokeessa näytteiden paksuuden havaittiin kasvavan jopa kahteen kuukauteen asti, ei näytteiden sisältämä bentoniitti välttämättä ehtinyt täysin aktivoitua lyhytaikaisessa kokeessa. Koelaitteistoa ja koemenetelmää ollaan kehittämässä edelleen havaittujen heikkouksien poistamiseksi.

Suoritetuissa kokeissa pyrittiin alunperin käyttämään 10 metrin vesipainetta varsinaisessa pitkäaikaisessa mittauksen suorittamisessa läpäisseen vesimäärän mittaustarkkuuden parantamiseksi. Tällä paineella näytteen läpäisemä vesimäärä, vedenläpäisevyyskertoimen ollessa 10^{-12} m/s, olisi ollut n. 2 ml vuorokaudessa. Kuten koetuloksista voidaan havaita läpäisevät vesimäärät olivat kuitenkin suurempia. Eräänä syynä tähän saattaa olla juuri liian suuri vesipaine, joka ilman maakontaktia suoritettuna on saattanut aiheuttaa bentoniitin sisäistä eroosioitumista matoissa.

Koetuloksia vertailtaessa on otettava huomioon, että suoritettu koeohjelma ja kokeet on tehty nimenomaan silmällä pitäen tuotteiden käyttöä teiden luiskasuojauksissa. Näissä kohteissa olosuhteet, johon tuotteet joutuvat, ovat erittäin ankarat. Osa suoritetuista kokeista on sellaisia, joiden kuvaamien tilanteiden syntyminen tuotteita todellisuudessa käytettäessä on estettävä koulutuksella ja työn valvonnalla. Parhaimmillaankaan tuotteiden asennusolosuhteissa ja asennuksen suorituksessa ei kuitenkaan suojausten rakentamisissa helposti päästä samaa suuruusluokkaa olevaan tarkkuuteen ja huolellisuuteen kuin esimerkiksi käytettäessä tuotteita kaatopaikkojen tai varmistusrakenteiden pohjien tiivistämiseen, mutta toisaalta myös suojausten läpäisyvaatimukset ovat lievemmat.

2.3.2 Bitumiemulsiolla bituminoitujen kuitukankaiden laboratoriotutkimukset

Maastossa bitumiemulsiolla bituminoitu kuitukangas oli peräisin Kymen tiepiirissä Taipalsaarella kesällä 1991 rakennetusta luiskasuojauskohteesta. Tässä kohteessa bituminoitua kuitukangasta oli käytetty tiivistemaakerroksen alla.

Kohteessa käytetty bituminoitu kangas oli tyypiltään Fibertex F-2B. Kankaan valmistusmateriaali on polypropeenä. Kankaan valmistajan ilmoittama neliöpaino on 140.0 g/m^2 ja paksuus 0.95 mm . Kangas on luokiteltu VTT-/GEO-kuitukangasluokituksen mukaiseen II-luokkaan.

Tiepiirin mukaan bitumoinnissa käytetty bitumiemulsio oli tyypiltään N0 ja emulsiota oli levitetty kuitukankaalle ruiskuttamalla kahdessa erässä yhteensä 1.3 kg/m^2 . Kuitukankaassa oli selvästi havaittavissa ruiskutuksen yhteydessä tapahtunutta bitumiemulsion valumista luiskasta ojan pohjaa päin.

Bituminoidun kuitukankaan vedenläpäisevyys määritettiin laboratoriossa venyttämättömässä tilassa olevalla kankaalla. Kankaan pinnasta oli poistettu siitä helposti kevyesti harjaamalla irtoava maa-aines.

Vedenläpäisevyyden mittaamiseksi kankaan päälle valutetulle vedelle pyrittiin asettamaan 0.5 metrin korkuista vesikerrosta vastaava paine. Kaikilla tutkitusta näytepalasta leikatuilla näytteillä ko. painetta ei kuitenkaan saatu aikaan kankaan suuresta vedenläpäisevyydestä johtuen.

Vedenläpäisevyyden tarkka määrittäminen ei käytetyllä laitteistolla kaikilla näytepaloilla onnistunut, koska koekappaleet eivät yleensä pitäneet vettä sen vertaa, että mittausta varten vakio-olosuhteet olisi saatu aikaan. Osassa näytepaloista oli bituminoidussa kankaassa paikoin jopa silminnähtäviä reikiä. Kankaan alapinnalta voitiin havaita, ettei bitumi kaikkialta ollut tunkeutunut kankaan läpi. Kankaan yläpinnalla bitumia oli paikoin kasaantunut paksuksi kerrokseksi.

Parhaiten vettä pidättävästä näytepalasta (jossa oli paksult bitumia) virtasi vettä läpi 700 ml minuutissa ($57\text{m}^3/\text{vrk}/\text{m}^2$), veden painekorkeuden ollessa 0.5 m. Tällä vesimäärällä näytteen vedenläpäisevyyden arvoksi saatiin 3.6×10^{-6} m/s. Pienellä vedenpaineella (6.3 cm) tämän näytteen vedenläpäisevyyden arvoksi saatiin 6.3×10^{-8} m/s.

Muilla koekappaleilla ei vedenpainetta saatu nostettu edes 10 cm suuriseksi, kankaan alkaessa jo läpäistä vettä niin, ettei laitteiston kapasiteetti enää riittänyt vedenläpäisevyyden tarkkaan määrittämiseen. Mikään testatuista neljästä näytepalasta ei ollut täysin tiivis hetkeäkään. Muutaman senttimetrin vesipaineella mitattujen vedenläpäisevyyškertoimien keskiarvoksi saatiin 4.5×10^{-6} m/s.

Kaikista testatuista koekappaleista mitatut keskimääriset paksuudet (5 mittauksen keskiarvo), määrittämissä käytetyt vedenpaineet ja niistä lasketut vedenläpäisevyyškertoimet on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Koekappaleista mitatut keskimääriset paksuudet, määrittämissä käytetyt vedenpaineet ja vedenläpäisevyyškertoimet.

Näyte n:ro	Paksuus d mm	Vedenpaine- korkeus h cm	Vedenläpäisevyys- kerroin k m/s	huom.
1	2.72	6.3 50.0	6.34×10^{-8} 3.60×10^{-6}	
2	1.57	1.5	1.56×10^{-5}	*
3	1.88	4.5	2.77×10^{-6}	*
4	2.08	5.0	$> 1.35 \times 10^{-5}$	*

* vedenpainetta ei saatu nostetuksi suuremmaksi

Bituminoidulla kuitukankaalla suoritettujen vedenläpäisevyyskokeiden tuloksista voidaan vetää sellaiset johtopäätökset, ettei ko. kohteessa paikalla bitumiemulsiolla ruiskuttamalla bituminoidun kuitukankaan vedenläpäisevyys ole juurikaan pienempi, kuin mitä yleensä luiskasuojauksessa maamateriaalilta maastossa vaadittava vedenläpäisevyys (5×10^{-6} m/s) on.

Aikaisempaan kokemukseen perustuen on myös havaittu laboratoriossa sivelemällä bituminoitujen kuitukankaiden johtavan vettä verraten hyvin, vaikka kankaan tasainen bituminointi on laboratorio-olosuhteissa helpompaa kuin ruiskuttamalla maastossa ja toisaalta bitumin tunkeutuminen kankaan läpi on voitu paremmin varmistaa. Tiiviimmän bituminoidun kuitukankaan aikaansaaminen maastossa ruiskuttamalla pitäisi kuitenkin olla periaatteessa helpompaa, koska bitumiemulsion tunkeutuminen kankaaseen ja mahdollisesti kankaan läpi paineella levitettynä pitäisi olla parempaa ja bitumiemulsion murtuminen (veden haihtuminen) emulsion suihkutuksen takia nopeampaa. Perusajatuksena bituminoitujen kuitukankaita käytettäessä onkin ollut se, että niitä käytetään vain kaltevalla pinnalla.

2.3.3 Uusien tuotteiden hyväksymiskokeet

Koska uusia geosynteettisiä tuotteita tulee jatkuvasti markkinoille suositellaan luiskasuojauksessa tiivistämiseen käytettävien geosynteettisten tuotteiden toimivuuden testaamista ennen niiden käyttöönottoa. Suojauksessa tiivistämiseen käytettävältä tuotteelta vaaditaan riittävän hyvä tiiviys ja kykyä kestää sille rakennusvaiheessa aiheutuvat rasitukset ja luiskasuojauksen erityispiirteet.

Markkinoille tulevien uusien geosynteettisten tuotteiden soveltuvuuden testaamiseksi suositellaan seuraavaa koeohjelmaa, jolla testaus suoritetaan.

Soveltuvuuden testaus sisältää vähintään seuraavat kokeet:

1. Tuotteen vedenläpäisevyyskoe
2. Vedenläpäisevyyskoe venytettynä
3. Vedenläpäisevyyskoe ns. asennuskokeen jälkeen
4. Vedenläpäisevyyskoe jäätymis-sulamissykliä jälkeen (vain bentoniittimatoilla)
5. Vedenläpäisevyyskoe suolakäsittelyn jälkeen (vain bentoniittimatoilla)
6. Tuotteen paksuuden määrittäminen kuivana ja märkänä
7. Tuotteen painon määrittäminen

Tuotteen vedenläpäisevyys määritetään 2 kPa:n kuormituksen alaisena tarkoitukseen soveltuvalla laitteistolla. Kuormitus voidaan järjestää joko hiekkakerroksen avulla tai muulla vastaavan tapaisella kuormituksella. Vedenläpäisevyyskokeessa on pyrittävä käyttämään vähintään halkaisijaltaan 15 cm olevaa näytettä. Hyväksyttävä läpäisevyyskoe on suoritettava käyttäen vähintään yhden metrin vesipainetta vastaavaa vedenpaine korkeutta. Koska tuotteiden läpi kulkevat vesimäärät ovat useimmiten hyvin pieniä, voidaan vesimäärän mittaustarkkuuden parantamiseksi käyttää suurempaakin paine korkeutta.

Venytytyssä tilassa suoritettavalla vedenläpäisevyyskokeella selvitetään tuotteen herkkyyys mahdollisista asennuspohjan epätasaisuuksista aiheutuille vaikutuksille.

Asennuskokeen jälkeisellä vedenläpäisevyyskokeen suorituksella varmistetaan, ettei tuote ole rikkoutunut asennuksen yhteydessä sen päälle tulevan maamateriaalin vaikutuksesta. Asennuskokeessa tuotteen päälle tulee soratien kulutuskerrosmursketta, jonka raekoko on 0...20 mm. Itse asennuskoe suoritetaan jäljittelemällä asennustilannetta luiskassa. Tässä yhteydessä asennuskokeet suoritettiin asentamalla geosynteettisestä tuotteesta leikattu näytepala, jonka koko on 0.5 x 1.5 m², routaeristelevyn päälle. Itse tuotteen päälle levitettiin 15 cm:n kerros soratien kulutuskerrosmursketta. Murskekerros tiivistettiin n. 80 kg:n painoisella tärylevyllä kuudella yliajokerralla, jonka jälkeen tuotteen keskikohdalta leikattiin vedenläpäisevyyden määrittämisessä käytetyt näytepalat.

Jäätymis-sulamiskokeilla varmistetaan, etteivät käytettävän tuotteen ominaisuudet merkittävästi muutu, sen joutuessa maastossa kosteana alttiiksi toistuville jäätymis-sulamissykleille. Tässä yhteydessä tuotteita jäädytettiin ja sulatettiin yhteensä neljä kertaa, jonka jälkeen tuotteiden vedenläpäisevyydet määritettiin.

Suolavesikäsitteilyn jälkeen määritettävällä vedenläpäisevyyskokeella varmistetaan, ettei tiesuola haitallisessa määrin heikennä tuotteen ominaisuuksia.

Tuotteen paksuuden mittauksella kosteana saadaan käsitys siitä, minkä paksuiseksi tuote maastossa muotoutuu. Neliöpainon määrittämisellä selvitetään, onko tuote ilmoitettujen ominaisuuksiensa mukainen.

Tärkeimpänä laatuvaatimuksena on tuotteen vedenläpäisevyys. Vedenläpäisevyyden on eri koetyyppien jälkeen on oltava pienempi kuin mitä edellä taulukossa 3 on esitetty.

2.3.4 Geotekstiilit

Luiskasuojaurakenteessa geotekstiilejä (non-woven -geotekstiilit) käytetään ensisijaisesti erottamaan tiivistemateriaali perusmaasta tai tiepenkeeseen materiaalista ja estämään tiivistemateriaalin kulkeutuminen tiivistekerroksesta veden mukana tierunkoon. Luiskasuojauksissa käytettävän geotekstiilin tyyppi määräytyy VTT-GEO -kuitukangasluokituksen mukaisesti. VTT-GEO -kuitukangasluokitus on esitetty taulukossa 17. Taulukon mukaan esimerkiksi louhepenkereelle rakennettujen teiden luiskasuojauksessa käytetään louheen ja luiskasuojausmateriaalin välissä VTT-GEO -kuitukangasluokituksen mukaista IV-luokan kuitukangasta. Lähinnä suojaustarkoituksiin on olemassa myös käyttöluokkaa IV paksumpia ja vahvempia kuitukankaita.

Vastaavasti tiivistekerroksen pintaosassa suositellaan nurmetuksen pysyvyyden varmistamiseksi I-luokan geotekstiilin tai vastaavan sitovan harsokerroksen asentamista humuskerroksen alle nurmen juurivyöhykkeelle, mi-

käli ei käytetä valmiita nurmimattoja tai samaan tarkoitukseen valmistettuja nurmetus- tai eroosionsuojamattoja.

Taulukko 17. VTT-GEO -luokituksen kuitukankaiden käyttöluokat.

Käyttöluokka	Käyttötarkoitus
I	Toissijaisissa kohteissa, esim. nurmetusalustana
II	Erottamaan luonnon maalajeja toisistaan
III	Erottamaan murskesora tai sepeli maalajeista
IV	Erottamaan lajittelematon louhe maalajeista

2.3.5. Geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistus työmaalla

Geosynteettisten tuotteiden laadun pitkälle menevä valvominen työmaalla ei useinkaan ole mahdollista, eikä tehdasvalmisteisten tuotteiden osalta aina tarpeenkaan, mikäli tuotannon laadunvalvonta on järjestetty esimerkiksi ISO 9000 -standardin mukaisesti.

Työmaalla tehtävät laadun varmistustoimet sisältävät tehdasvalmisteisten tuotteiden osalta:

1. Tuotteen nimikkeen tarkistuksen
2. Tuotteen silmämääräinen tarkistuksen levitettäessä
3. Neliöpainon tarkistuksen
4. Näytteenotto, vähintään 2 m² käytettävää 5000 tuote-m² kohti

Tuotteiden nimikkeiden tarkistamisella varmistetaan oikean, suunnitelmien mukaisen tuotteen käyttö kohteessa. Tuotteen levitysvaiheessa tapahtuvala silmämääräisellä tarkastamisella varmistetaan, ettei tuotteessa ole ulospäin havaittavia virheitä.

Tuotekohtaisesti suoritettavalla neliöpainotarkistuksella varmistetaan ja seurataan tuotteiden tasalaatuisuutta. Tuotteiden neliöpainot määritetään esimerkiksi joka kolmannelta rullasta leikkaamalla rullan päästä vähintään neliön kokoinen pala ja määrittämällä sen neliöpaino. Yli 10 % alitus ei ilmoitettuun neliöpainoon ei ole sallittava. Kohdassa 4 mainitut näytteet voivat olla neliöpainon määrittämisessä käytettyjä paloja.

Maastossa paikanpäällä tehtävien tuotteiden, lähinnä bituminoitujen kuitukankaiden, vesitiiviyydestä on toistaiseksi niin niukasti kokemuksia, että niiden osalta laadunvalvonnan tulisi sisältää kussakin kohteessa bituminoidusta kankaasta otettujen koepalojen vedenläpäisevyyden määrittämisen.

2.4 Suositukset geosynteettisten tuotteiden käytöstä

Tuotteiden vedenläpäisevyyden vaatimusta asetettaessa on oletettu, että geosynteettinen tuote vastaa yksin rakenteen tiiviydestä päällystekerroksen ja maamateriaalin välisellä alueella. Ohuilla tuotteilla tämä läpäisevyysaika-vaatimus johtaa hyvin pieneen sallittuun vedenläpäisevyyteen lähes riippumatta veden painekorkeuden suuruudesta (taulukko 3), jolloin suojauksessa käytettäviä mahdollisia tuotteita olisivat lähinnä vain bentoniittimatot ja geomembraanit hitsatulla saumalla tehtyinä.

Itse suojausrakenteessa geosynteettinen tuote kuitenkin on kallistettuna ojaa kohti ja alue, jolla tuotteen alla ei vielä ole maatiivistettä, on n. 0.5...1.5 metrin levyinen. Jos tielle valuu nestettä, se pyrkii suojausrakenteessa valumaan tuotetta pitkin alueelle, jossa tuotteen alla jo on maatiivistettä ja lopulta maatiivisteeseen päälle. Koska sekä luiskan pinta että tuotteen pinta ovat kaltevia, ei nesteen painekorkeus geosynteettistä tuotetta vastaan muodostu yleensä kovin korkeaksi, mutta neste voi kuitenkin levitä laajalle alueelle.

Suosituksen perusajatuksena on, että läpäisevyysaikaan perustuvia vedenläpäisevyysvaatimuksia ja täysin varmaa, parasta mahdollista tiivistystekniikkaa sovellettaisiin

- aina vedenottamoiden lähisuojavajöhykkeillä
- vilkasliikenteisillä teillä vaatimustasoltaan muissa erittäin vaativaa suojausta edellyttävissä kohteissa sekä
- vilkasliikenteisillä teillä vaativaa suojausta edellyttävillä kaukosuojavajöhykkeillä.

Muilla kaukosuojavajöhykkeillä ja perussuojattavilla alueilla voitaisiin käyttää myös muita tuotteita, jotka mm. läpäisevyysaika-vaatimuksensa puolesta eivät täysin vastaa vaatimuksia tai jotka eivät ole täysin tiiviitä, mutta useimmissa tapauksissa kuitenkin estävät nesteiden valumista suoraan maahan. Näin ollen näissä suojauksissa voitaisiin käyttää myös muovitettuja kuitukankaita ja bituminoituja kuitukankaita toistaiseksi, kunnes niiden toiminnasta on saatu kerättyä lisää kokemuksia. Muovitettu kuitukangas tai bituminoitu kuitukangasta ei kuitenkaan sellaisenaan riitä ojan pohjan tiivistämiseen.

Suosituksukset ovat tällöin:

- Erittäin vaativassa suojauksessa tai aina lähisuojavajöhykkeellä suositellaan käytettäväksi vain bentoniittimattoja tai hiekkakerroksella tai kuitukankaalla suojattua geomembraania (minimipaksuus 1.0 mm, saumat hitsattuna ja koestettuna) luiskan yläosan tiivistyksessä. Myös pitkäaikaiskestävyyden varmistamisessa tulisi ko. kohteissa käyttää bentoniittimattoja tai geomembraania.
- Vaativassa suojauksessa kaukosuojavajöhykkeellä suositellaan käytettäväksi vain bentoniittimattoja tai geomembraania. Vesi- ja ympäristöpiirin suostumuksella voidaan tällaisessa kohteessa käyttää kuitenkin muitakin läpäisevän vesimäärän perusteella lasketun vedenläpäisevyysvaatimuksen täyttäviä geosynteettisiä tuotteita luiskan yläosan tiivistämisessä.

-
- Edellä mainituissa kohteissa voidaan käyttää muitakin tuotteita, jos ne täyttävät vedenläpäisevyysvaatimukset.
 - Muissa suojausluokissa voidaan käyttää bentoniittimattoja, geomembraaneja ja muovitettuja geotekstiilejä sekä luiskan yläosan tiivistämiseen että pitkäikaistoiminnan varmistamiseen.
 - Bitumiemulsiolla bituminoituja geotekstiilejä (ilman saavutettavan lopputuloksen tarkistamista) ja rakennusmuoveja tulisi suojauksissa käyttää ainoastaan maatiivisteen kuivumisen vähentämiseksi.
 - Jos suojattavassa kohteessa on tiedossa jälkiasennuksia tai myöhemmin tehtäviä läpivientejä, tulee kohteen materiaalivalinnassa ottaa jo alusta alkaen näiden tiivistämis- ja saumaumahdollisuus huomioon.

3 GEOSYNTTEETTISTEN TUOTTEIDEN ASENNUS

Tiivistämistarkoitukseen käytettävien geosyntteettisten tuotteiden asennuksessa tulee noudattaa suurta huolellisuutta. Mikäli tuotteita käsitellään tai ne asennetaan huolimattomasti, saattaa koko rakenteen tiiviys vaarantua.

Varastointi

Työmaalla kaikki geosyntetiset tuotteet on varastoitava kuivassa paikassa ja mieluiten myös auringon valolta suojattuina. Pakkasilmoilla tuotteet on varastoitava lämpimässä varastossa vähintään vuorokauden ajan ennen käyttöä.

Asennus

Ennen asennukseen ryhtymistä varmistetaan tuoterullista, että tavara vastaa suunnitelmissa esitettyä tuotetta. Asennuspohjan tulee olla mahdollisimman tasainen, eikä siinä saa olla oksia, muita vieraita esineitä tai suuria teräviä kiviä. Asennusohjeet on aina syytä tarkistaa tavarantoimittajalta, koska uusia tuotteita tulee jatkuvasti markkinoille ja olemassa olevia tuotteita kehitetään edelleen.

Valmiiksi sopivan levyisiksi leikatut tuotteet asennetaan rullasta suoraan oikealle paikalleen käyttäen apuna kaivinkoneen kauhaan tai vastaavaan kiinnitettyä tankoa, jonka ympäri tuoterulla vapaasti pyörii. Bentofix-matot voidaan levittää myös käsin, koska niiden asennussuunta vastaa maassa olevan rullan aukirullaantumissuuntaa. Claymax-matot levitetään siten, että rullassa uloimmaisena oleva kangas tulee ylöspäin. Näin ainakin Bentofix- ja Claymax -bentoniittimatoissa tuotteen nimipuoli tulee ylöspäin. Muovitetut kuitukankaat levitetään siten, että muovipinnoitettu puoli tulee hienorakeisempaa maamateriaalia kohti. Jos molemmat materiaalit ovat yhtä karkeita, levitetään tuote muovipuoli ylöspäin. Tarvittaessa tuotteen päälle ja reunoille on levitettävä painoja, jotta se ei liiku esimerkiksi tuulessa. Kivien käyttämistä painoina tulisi välttää ja käyttää niiden sijasta hiekalla täytettyjä pusseja.

Tuotetta jätetään tulevan päällysrakenteen alle tulevan asfaltin reunasta mitattuna vaakasuunnassa tien keskikohtaa päin n. 50 cm. Tällöin tuotteen toinen reuna ulottuu luiskassa sellaiselle etäisyydelle, että maatiivisteiden paksuus tuotteen reunan alla on vähintään 50 cm. Tuotteen reuna voidaan ulottaa kauemmaksikin, mikäli esimerkiksi tuoterullan toimitusleveydestä johtuen mahdollisesti ylijäävälle suikaleelle ei ole muuta järkevää käyttöä. Rullasta jäänyttä reunasuikaletta voidaan kuitenkin käyttää esimerkiksi liikenumerkkien läpivientien tiivistämisessä.

Työjärjestys on suunniteltava siten, että bentoniittimattot voidaan peittää melkein välittömästi asennuksen jälkeen. Claymax-matot tulee peittää esimerkiksi muovikalvolla, mikäli ennen niiden peittämistä alkaa sataa. Bentofix-matot kestävät hieman paremmin vähäistä kastumista, mutta yleensä bentoniittimattot eivät saisi kastua ennen niiden peittämistä. Tuote ei saisi jäädä peittämättömäksi yön yli. Kuivankin tuotteen päällä liikkumista tulee

välttää. Työmaaliikenteen liikkuminen tiivisteen päällä tulee estää sopivin ajoestein.

Murske levitetään tuotteen päälle päätypengerryksenä, siten että koneet liikkuvat vain jo peitetyllä alueella. Asfaltin alle jäävä tuotteen osuus peitetään ensin 0...25 cm kerroksella. Sen jälkeen peitetään luiska, luiskan täytön alkaessa ojan pohjalta ja edeten ylös luiskaa, jotta tuote ei siirry ojan pohjaa kohti. Mikäli geosynteettistä tuotetta käytetään koko maatiivisteen alla, aloitetaan sen peittäminen ojan pohjalta. Muovikalvojen peitesyvyyden tulee olla vähintään 1 m, mikäli sen päällä ei käytetä kuitukangasta suojana.

Jos bentoniittimaton peittämisen ja tien päällystämisen välisenä aikana ei ole ollut sateita, kastellaan asfaltin alle jäävä bentoniittimatto useaan kertaan ennen päällystämistä, jotta bentoniittimaton paisuminen ei riko asfalttia.

Saumaus

Kaikkien tiivistämiseen käytettävien tuotteiden saumakohdassa maapohjan on oltava mahdollisimman tasainen.

Bentoniittimattojen tulee painautua tiiviisti toisiaan vasten koko sauman matkalta, koska etenkin irrallista bentoniittijauhetta sisältämättömissä saumoissa saumakohta tiivistyy päällä olevasta bentoniittimattosta tulevan bentoniitin ansiosta. Jos mahdollista, tuotteet asennetaan siten, että vesi virtaa tuotteen päältä toisen tuotteen päälle, eli tuotteen levittäminen etenee veden virtaussuuntaa vastaan.

Tuotteet saumataan tavarantoimittajan kyseiselle tuotteelle antamien saumausohjeiden mukaan. Useisiin bentoniittimattoihin on merkitty saumassa limitettävä osuus, ja sauma tehdään vähintään esitetyn suuruisena. Bentoniittimatoilla tarvittava limitys on yleensä 15...30 cm, mutta koska asennuspohjan tasaisuutta luiskassa ei riittävän hyvin voida valvoa ja tuotteiden liikkuminen toistensa suhteen niiden peittämisen yhteydessä on mahdollista, on suositeltavaa limittää matot n. 30 cm:n matkalta. Eräissä bentoniittimatoissa saumat (Bentofix B (NW) ja Claymax 200 R) ovat itsestään saumautuvia eikä niissä käytetä irtonaista bentoniittijauhetta. Bentofix B (NW):ssäkin käytetään yleensä luiskasuojauksessa bentoniittijauhetta, koska itsestään saumautuva saumareuna on tuotteen pituussuunnassa, eikä luiskasuojauksessa näin tule sauman kohtaan. Bentoniittijauheen käyttö ja käytönmäärä saumassa tarkastetaan tavarantoimittajalta. Claymaxin läpiommelussa kankaassa bentoniittijauheen käyttäminen on suositeltavaa, vaikka sitä ei valmistajan mukaan tarvitakaan, koska hyvin pienillä kuormituksilla saumakohta saattaa vuotaa maton jäädessä ompeleiden kohdalta ohuemaksi. Mikäli bentoniittijauhetta käytetään, se levitetään ohjeiden mukaisesti, yleensä n. 10 cm levyinen ja parin senttimetrin paksuinen vana (n. 1 kg-/m) alemman bentoniittimaton päälle, päällimmäiseksi tulevan maton reunan alle. Jos tuotetta ei heti peitetä kokonaan, tulee ainakin saumakohta peittää maakerroksella, ettei se mahdollisen kostumisen takia turpoa auki.

Eristämistarkoitukseen käytettävät geomembraanit saumataan hitsaamalla. Jos geomembraania käytetään suojauksen pitkäaikaistoiminnan varmistamiseen erittäin vaativissa kohteissa (lähisuoja-alueet) sauman eheys tarkistetaan ainettarikkomattomalla menetelmällä. Yleensä luotettavan hitsauksen onnistumisen edellytyksenä on, että kalvon paksuus on vähintään 1.0 mm. Muovitetut geotekstiilit saumataan liimaamalla. Intermembrane-kalvon liimauksessa käytetään Hot Melt -liimaa, ja liimaus suoritetaan kovalla alustalla käyttäen kahta rinnakkaista 5 cm välein tehtyä liimasaumaa. Liimauksessa tarvittavat välineet ja tarkemmat liimausohjeet antaa tavarantoimittaja.

Maatiivisteiden kuivumisen estämiseen käytettävien tuotteiden, lähinnä rakennusmuovien, saumaukseen riittää limittäminen. Käytettävä limityspituus on n. 0.5 m.

Tiivisteen läpäisy

Geosynteettisen tuotteen asennuksen jälkeen tuotteeseen tehtävät läpäisy, esimerkiksi liikennemerkkien pystyttämisestä aiheutuvat aukot, korjataan vastaamaan alkuperäisen suojauksen tiivyyttä. Ojan pohjalle tehtäviä läpäisyjä tulee välttää. Jos läpäisykohdasta on maamateriaali poistettu, asetetaan poistettu maamateriaali takaisin mahdollisimman hyvin tiivistettynä.

Läpäisykohtien korjaaminen on helpointa bentoniittimatoilla. Pieniläpimittaisissa läpäisyissä, esimerkiksi kaidepylväiden asennuksen yhteydessä maa poistetaan ensin tuotteen päältä. Tuotteeseen tehdään asennuskohtaan viilto esimerkiksi mattoveitsellä, jonka jälkeen pylväs painetaan viillon läpi. Läpäisykohta tiivistetään levittämällä bentoniittijauhetta kaidepylvään ympärille.

Suuriläpimittaisissa läpäisyissä, esimerkiksi kaivojen kohdalla, bentoniittimaton reunat nostetaan läpäisevän rakenteen reunoja vastaan. Jos bentoniittimaton levittäminen tehdään kaivon ollessa jo paikollaan, maton reunat voidaan kiristää teräsvanteella kaivon ympärille. Mikäli kaivo tms. rakennetaan asennetaan myöhemmin ts. bentoniittimaton jo ollessa maassa, tehdään uudesta bentoniittimatosta läpäisykohdan ympärille kaulus. Kauluksen tulee ulottua vähintään 50 cm maahan vahingoittumattomaksi jääneen bentoniittimaton päälle. Jo maassa olevan ja uuden bentoniittimaton väli tiivistetään bentoniittijauheella.

Bentoniittimattoon työskentelyn takia asennuksen yhteydessä tullut pelkkä reikä tai repeämä peitetään bentoniittimatolla, joka ulottuu vähintään 30 cm etäisyydelle reiän reunoista.

Muihin geosynteettisiin tuotteisiin tehtävät läpäisy tulee pyrkiä korjaamaan alkuperäisiä materiaaleja ja saumaustapoja käyttäen. Jo maassa olleen geomembraanin tai muovitun kuitukankaan hitsaaminen tai liimaus ei välttämättä kuitenkaan onnistu kovin hyvin (ei ainakaan talvella tai sadeilmoilla), eikä korjaamiseen sopia tuotteita tai välineitä välttämättä enää ole käytettävissä. Tehdyt läpäisy on kuitenkin joka tapauksessa korjattava, ja bentoniittimattojen korjaustapaa soveltamalla voidaan vastaavasti korjata myös

muihin tuotteisiin tehdyt läpäisyt läpäisykohtaan asennettavalla bentoniittimaton palalla ja jauheella.

Mikäli tiivistämisen käytetyt tuotteet joudutaan katkaisemaan tai poistamaan tietyltä alueelta kokonaan tien poikki tehtävien kaivutöiden yhteydessä, peitetään ko. kohta kokonaan uudella matolla, joka ulottuu vähintään 30 cm jo maassa olevan tuotteen päälle.

Tienseuntaisesti luiskan yläosan geosynteettisen tiivisteiden alle mahdollisesti myöhemmin asennettavien kaapelien, tms. asennuksen yhteydessä, joudutaan koko luiskan alapuolinen tiiviste yleensä uusimaan. Jos asennuksesta aiheutuu tuotteeseen ainoastaan selvärajainen viilto, voidaan korjaus tehdä bentoniittimaton luiskalla (levyys n. 60 cm), joka asennetaan puolittain luiskassa yläpuolella olevan tuotteen alle ja alapuolella olevan tuotteen päälle.

4 JOHTOPÄÄTÖSET JA LISÄTUTKIMUSTARPEET

Luiskasuojauksen rakentamisessa laadunvalvonnan painopisteen tulisi siirtyä nykyisestä jälkikäteen tapahtuvasta laadunvalvonnasta entistä enemmän ennalta ja työnaikana tapahtuvaan laadunvalvontaan. Myös luiskasuojauksissa käytettävien geosynteettisten tuotteiden soveltuvuus suojaukseen tulisi myös tarkistaa ennakolta. Luiskasuojauksessa tiivistämiseen käytettävän geosynteettisen tuotteen asennuksen huolellisuuteen ja tarkkuuteen tulee kiinnittää riittävästi huomiota. Tiivistämiseen käytettävien geosynteettisten tuotteiden asennuksessa on noudatettava suurempaa huolellisuutta kuin kuitukankaiden tai kudottujen kankaiden käytössä, vaikka tuotteet, esimerkiksi bentoniittimatot saattavat muistuttaa kovasti tavanomaisia suodatinkankaita. Tästä on tiedotettava kaikille työmaalla työskenteville henkilöille. Koko suojauksen tiiviys saattaa vaarantua, mikäli tuotteita varastoidaan, käsitellään tai levitetään huolimattomasti. Etenkin bentoniittimattojen saumauksen asianmukaisuuteen tulee kiinnittää huomiota.

Luiskasuojauksen rakennetta tulisi pyrkiä edelleen kehittämään. Suojausrakenteen tulisi olla yksinkertaisempi, koska nykyistä rakennetta pidetään vaikeasti tehtävänä. Lisäksi suojauksen luiskan yläosien kantavuus saattaa jäädä alhaiseksi niissä käytettävien hienorakeisten materiaalien ja geosynteettisten tuotteiden muodostavien rajapintojen takia.

KIRJALLISUUS

- /1/ Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Tielaitos, Tiehallitus, Kehittämiskeskus. Helsinki 1991, 32 s.
- /2/ Rathmayer, H. & Juvankoski, M., Geosynteettiset tuotteet georakentamisessa. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Rakennustieto. Helsinki 1992. 105 s.
- /3/ Seed, R. B. & Boulanger, R. W., Smooth HDPE-clay Liner Interface Shear Strengths: Compaction Effects. Journal of Geotechnical Engineering, Vol 117, No 4, April 1991, s. 686...693.
- /4/ Soveri, J. & Vesterinen, J., Effects of Road Salting on Groundwater Quality in Salpauselkä Area in Southern Finland. Nordisk hydrologisk konferens, Kalmer, Sverige 1990.
- /5/ Talonrakennuksen maotöiden työselitys, RIL 132-1979. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 79 s.
- /6/ Tiesuolan (NaCl) esiintyminen moottoritien lähialueiden maaperässä sekä pinta- ja pohjavesissä. Uudenmaan tie- ja Vesirakennuspiiri, Kunnossapito. Helsinki 1973. 36 s.

TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 1/1991 Kerrosten laatuvirheiden esto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhaake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 15/1991 Vairioinventoinnin tulosten käsittelyohjelmistot, lomake, mittari ja siirto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kalliokohdetutkimus. TIEL 4000003
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa I, Routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. TIEL 4000004
- 22/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa II, Tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin. TIEL 4000005
- 23/1991 Betonipäällysteen seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 25/1991 Tiivistyskurssi; Maarakenteiden tiivistäminen. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1991 Omajohtoisissa töissä käytetyn tiivistyskaluston nykytilaselvitys vuosilta 1987-90. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 27/1991 Sorateiden keliikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti I. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rekennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1992 Sorateiden keliikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II; Prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimukset. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa III, Elävät pituushalkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa. TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kuivatustutkimus osa I sekä roudan syvyys-havainnot. TIEL 4000018
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus
- 45/1992 Tielaitoksen pudotuspainolaitteiden vertailu; Saarijärvi 8 - 9.7.1992. TIEL 4000023

TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 10/1993 Päällystetyn tieverkon kuntomittaukset ja hallintajärjestelmät. Tuotannon palvelukeskus

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 3/1992 Viipurin batoliitin eri rapakivityyppien soveltuvuus tienpäälyste-
kivialineeksi. TIEL 3100004
- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 2/1990 Liuskapystyöjakenttien toiminnasta. TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen; teoreettinen osa. TIEL 703343
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tiepenkereen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet.
TIEL 3200024
- 1/1992 Pystyöjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testaus-
menetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkas-
kestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT),
perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus.
TIEL 3200119
- 1/1993 Arktinen tienrakentaminen. TIEL 3200121
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa.
TIEL 3200142
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146

Geotekniikan informaatiojulkaisuja:

- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset suunnitteluperusteet. TIEL 3200151